



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Verkenning doelstelling voor herstel verontreiniging met PFOS

Versie mei 2011

RIVM Briefrapport 607083001/2011
J.P.A. Lijzen et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Verkenning doelstelling voor herstel verontreiniging met PFOS

Versie mei 2011

RIVM Briefrapport 607083001/2011
J.P.A. Lijzen et al.

Colofon

© RIVM 2011

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

J.P.A. Lijzen (projectleider), RIVM
M.P.M. Janssen, RIVM
R. van Herwijnen, RIVM
A. Wintersen, RIVM
M.C. Zijp, RIVM
L. Posthuma, RIVM

Contact:

J.P.A. Lijzen
RIVM-LER
johannes.lijzen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Provincie Noord-Holland, in het kader van E/607083 PFOS

Rapport in het kort

Verkenning doelstelling voor herstel verontreiniging met PFOS

Doelstellingen voor herstel van bodem en grondwaterverontreiniging met PFOS (perfluor octaan sulfonaat) zijn voorgesteld op basis van risico's voor de mens en het milieu. Dit is gedaan door vier scenario's uit te werken waarvoor de doelstellingen op verschillende niveaus zijn geformuleerd en de bijbehorende risicogrenzen, uiteenlopend van 0,1 tot 100 µg/kg in bodem en 0,01 tot 4.7 µg/l in grondwater. Mede op basis van deze informatie kan het bevoegd gezag de uiteindelijke doelstelling voor herstel voor grond en grondwater bepalen.

Trefwoorden:

PFOS, grondwater, doelstelling voor herstel

Inhoud

Samenvatting—5

1 Inleiding—7

- 1.1 Aanleiding—7
- 1.2 Doel van rapportage—7
- 1.3 Werkwijze en uitwerking—8

2 Beschrijving situatie en saneringsmogelijkheden hoofdlijnen—10

- 2.1 Verontreinigingssituatie—10
- 2.2 Saneringsopties op hoofdlijnen—10
- 2.3 Reiniging van met PFOS vervuild (grond)water—11

3 Relevante beleidskaders en bijbehorende risicogrenzen—13

- 3.1 Relevante beleidskaders grond en grondwater—13
 - 3.1.1 Uitgangspunten preventief bodembeleid—13
 - 3.1.2 Grondwaterrichtlijn en Kaderrichtlijn water—13
 - 3.1.3 Blijvende geschiktheid voor bodemfunctie en rol Maximale Waarde (Bbk)—15
- 3.2 Relevante risicogrenzen voor (grond)water—15
 - 3.2.1 Ecologische risicogrenzen (grond)water—16
 - 3.2.2 Humane risicogrenzen (grond)water—18
- 3.3 Relevante waarden voor grond—19
 - 3.3.1 Ecologische risicogrenzen—19
 - 3.3.2 Risicogrenzen systematiek maximale waarden—21
 - 3.3.3 Risicogrenzen nalevering naar het grondwater—22
- 3.4 Normering internationaal—23
- 3.5 Verkenning rapportagegrenzen en achtergrondwaarden grond en water—24
 - 3.5.1 Rapportagegrenzen en detectiegrenzen—24
 - 3.5.2 Achtergrondconcentraties in grondwater en grond—26

4 Overwegingen bij het bepalen van een doelstelling voor herstel voor grond en grondwater—28

- 4.1 Doel en scenario's—28
- 4.2 Rapportagegrens en achtergrondconcentratie—28
- 4.3 Wegnemen ecologisch risico conform preventieve beleidskaders—29
- 4.4 Wegnemen ecologische effecten en grondwater dat voldoet aan norm voor drinkwaterbereiding—31
- 4.5 Blijvend geschikte bodemkwaliteit en grondwater geschikt voor gebruik—32
- 4.6 Overzicht van doelstellingen voor herstel PFOS-verontreiniging in grond en grondwater—33

5 Referenties—34

Bijlage 1 Samenvatting risicogrenzen met bronvermelding—37

Bijlage 2 Toxiciteitswaarden voor de toxiciteit van PFOS—38

Samenvatting

Doelstelling

De provincie Noord Holland heeft het RIVM gevraagd een verkenning te maken van mogelijke doelstellingen voor herstel van met PFOS verontreinigde grond en grondwater in relatie tot het toekomstige gebruik van het verontreinigde gebied (kantoren, infrastructuur), voor een terrein met een nieuwe verontreiniging met de stof PFOS. Op basis van deze verkenning kan door het bevoegd gezag een doelstelling (herstelwaarde) worden bepaald en saneringsmogelijkheden worden bekeken en op haalbaarheid worden getoetst. De verkenning van doelstellingen voor herstel in deze rapportage richt zich op een doelstelling voor grond en een doelstelling voor grondwater. Oppervlaktewater en waterbodempligt buiten de reikwijdte van deze verkenning. De saneringsmogelijkheden van met PFOS-verontreinigde grond en grondwater zijn door de aard van de stof beperkt. Voor grond is ontgraving (gelijk met herinrichting) de meest waarschijnlijk optie. Voor grondwater lijkt gezien de waargenomen mobiliteit onttrekking en binding van PFOS uit water aan actieve kool en verbranding daarvan op hoge temperatuur de beste mogelijkheid voor deze vorm van sanering.

Zowel de uitgangspunten van het preventieve bodembeleid, de grondslagen van de grondwaterrichtlijn en kaderrichtlijn water, als de achtergronden van risicogrenzen in het bodembeheer bieden een basis voor een verkenning van doelstellingen voor herstel van een nieuwe verontreiniging met PFOS. Kwaliteitscriteria en risicogrenzen voor grond en grondwater die in deze kaders voorkomen zijn op een rij gezet. Bijlage 1 geeft een overzicht van deze waarden.

Uitgangspunt is de 'herstelplicht' zoals deze is beschreven in de Wet Bodembescherming, maar ook enkele minder vergaande scenario's zijn uitgewerkt. Er wordt geen uitspraak gedaan over (kosten)technische haalbaarheid van de mogelijke doelstellingen voor herstel. De keuze van de doelstelling wordt door de bevoegde overheid gemaakt op basis van de gewenste ambitie en de nog te bepalen haalbaarheid.

Op basis van vigerende regelgeving, beleidsdoelen, wetenschappelijke kennis, en gegevens over gedrag en toxiciteit van PFOS zijn vier scenario's met verschillende terug-saneerwaarden voor PFOS onderscheiden:

1. De rapportage grens of (indien hoger) de achtergrondconcentraties van PFOS in grond en grondwater;
2. Het wegnemen van ecologische risico's door sanering tot het concentratieniveau dat in andere (preventieve) beleidskaders wordt gehanteerd (bouwstoffen, grootschalige bodemtoepassingen en vanuit Grondwaterrichtlijn/KRW);
3. Het wegnemen van ecologische effecten door sanering tot het niveau dat er daadwerkelijk effecten waargenomen worden in (ecotoxicologische) experimenten;
4. Blijvende geschiktheid voor het bodemgebruik volgens de systematiek van Maximale Waarden (ecologische en humaan) zoals gehanteerd in het beleid voor hergebruik van grond en bagger, inclusief gebruik voor de winning/bereiding van drinkwater.

Hierbij geldt het vierde scenario als bovengrens vanwege het beleid voor hergebruik van grond en bagger. Bij deze denkbare saneringsdoelen zijn voor- en nadelen genoemd.

Samenvattend hebben de analyses geleid tot de in Tabel 4.1 samengevatte, samenhangende potentiële doelstellingen voor herstel (allen uitgedrukt als te bereiken eindconcentraties). De scenario's verschillen in de mate waarin de concentratie teruggebracht moet worden, waarbij optie 1 de laagste en optie 4 de relatief hoogste concentraties toe zou laten.

Samenvatting voorstellen doelstelling voor herstel per scenario met verschillende ambities

Scenario	Doelstelling grond (µg/kg)	Doelstelling grondwater (µg/l)
1. Rapportagegrens en achtergrondconcentraties	0.1	0.010
2a. Wegnemen ecologisch risico (via vastgestelde methodiek preventief beleid)	3,2	0.023
2b. Wegnemen ecologisch risico (via gevoeligheidsverdeling soorten)	3,2	0.094
3. Wegnemen ecologische effecten, en kwaliteit grondwater voldoet aan norm drinkwaterbereiding	10	0.53
4. Blijvende, voor het gebruik geschikte bodemkwaliteit en grondwater geschikt als drinkwater	100	4.7

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Op verzoek van de Provincie Noord-Holland is een notitie opgesteld, waarin de risicogrenzen van PFOS in grond, grondwater (en oppervlaktewater) zijn samengebracht (Bodar e.a., 2011). Het gaat om ecologische risicogrenzen en een humane risicogrens voor grondwater. Dit is gedaan voor een in juli 2008 ontstane verontreiniging van grond, grondwater en sediment in watergangen met PFOS als gevolg van het opslaan van met blusschuim verontreinigd water in 5 bergingsbassins.

Op basis van artikel 13 van de Wbb (zorgplicht) is herstel van de locatie gewenst (herstelplicht). In het najaar van 2010 is daarom een nader onderzoek naar PFOS gedaan in slib, grond en grondwater in en rondom de opslagbassins (Terrascan, 2011). Op basis van deze inventarisatie van normen en het in het najaar van 2010 uitgevoerde onderzoek ter plaatse wordt duidelijk dat in slib, grond en grondwater risicogrenzen worden overschreden.

1.2 Doel van rapportage

De provincie NH heeft het RIVM gevraagd aansluitend op het nader onderzoek een verkenning te maken van mogelijke doelstellingen voor herstel voor grond en grondwater in relatie tot het toekomstige gebruik van het verontreinigde gebied (kantoren, infrastructuur). Gekozen is om de term 'doelstellingen voor herstel' te gebruiken om zo verschil te maken met de saneringsdoelstellingen zoals die voor historische gevallen worden afgeleid (technische gezien zal er nog steeds een sanering uitgevoerd moeten worden, waardoor ook 'saneren' en 'terugsaneerwaarde' in deze rapportage worden gebruikt).

Op basis van deze verkenning kan door het bevoegd gezag een herstelwaarde worden bepaald en saneringsmogelijkheden worden bekeken en op haalbaarheid worden getoetst. Belangrijk daarbij is dat de locatie herontwikkeld wordt en dat de uiteindelijk gewenste inrichting (inclusief bodemgebruik) ook meegewogen wordt.

De verkenning van doelstellingen voor herstel in deze rapportage richt zich op de volgende onderdelen:

1. doelstelling voor grond¹;
 2. doelstelling voor grondwater;
- Oppervlaktewater en waterbodem ligt buiten de reikwijdte van deze verkenning.

¹ De definitie van bodem en grond is niet geheel eenduidig in diverse bronnen en beleidsstukken. Bodem wordt in de Wet bodembescherming (Wbb) omschreven als: 'het vaste deel van de aarde met zich daarin bevindende vloeibare en gasvormige bestanddelen en organismen'. De diepte niet nader gespecificeerd. Dit begrip wordt meestal gebruikt om te refereren aan de "liggende" bodem, bijvoorbeeld wanneer het gaat om het gebruik (bodemfunctie), eigenschappen (bodemeigenschappen, doorlatendheid) en wanneer het van oudsher gebruikelijk is (Circulaire bodemsanering, MTR bodem). Grond zien we in dit rapport primair als al dan niet afgegraven bodemmateriaal (met inbegrip van poriewater) tot de diepte van de grondwaterspiegel. Gezien het bovenstaande en het gebruik van dit begrip in het Besluit bodemkwaliteit hebben we het hier over doelstellingen voor grond.

1.3 Werkwijze en uitwerking

Doelstellingen voor herstel kunnen verschillende grondslagen hebben en zijn onder meer gebaseerd op wettelijke regels en verplichtingen, en de daarbij horende wettelijke normen en (achterliggende) wetenschappelijke risicogrenzen en methodieken. In de RIVM-notitie van december 2010 (Bodar e.a., 2011) is reeds een overzicht gegeven van beschikbare risicogrenzen voor grond en grondwater. Tevens is in 2010 een rapport verschenen over risicogrenzen voor oppervlaktewater in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water (Moermond, 2010).

Naast de risicogrenzen voor water zijn aanvullende kwaliteitscriteria op een rij gezet die een rol kunnen spelen bij het bepalen van een doelstelling voor herstel. Voor zover deze nog niet elders zijn gerapporteerd wordt de afleiding daarvan in deze rapportage toegelicht en samengevat.

Eerst wordt ingegaan op de verschillende beleidskaders van waaruit mogelijk relevante normen, risicogrenzen en bodemkwaliteitseisen naar voren komen (paragraaf 3.1). Voor grond (bodem) is de blijvende geschiktheid voor gebruik een belangrijk beleidskader (conform het Besluit Bodemkwaliteit), net als normen voor de algemene milieukwaliteit en doelstellingen achter het preventieve bodembeleid.

Voor grondwater is de aansluiting bij de uitgangspunten van het bestaande preventieve stoffenbeleid van belang, maar ook aansluiting bij eisen/aanpak vanuit de grondwaterrichtlijn (GWR) en de Kaderrichtlijn Water (KRW).

Daarna worden de risicogrenzen (voor het ecosysteem en de mens) voor grondwater (3.2) en grond (3.3) en de kwaliteitscriteria, zoals rapportagegrenzen en achtergrondconcentraties (3.5) gepresenteerd. Er zijn ook internationale PFOS-normen in voorbereiding. In paragraaf 3.4 wordt hier op ingegaan.

Tot slot wordt ingegaan op achtergrondgehalten en bepalingsgrenzen van PFOS in grond en grondwater op basis van de momenteel beschikbare gegevens (3.5).

Hoofdstuk 4 gaat in op de geschiktheid van de verschillende normen en risicogrenzen en kwaliteitscriteria als basis voor de afleiding van doelstellingen voor grond en grondwater. Dit wordt gedaan via enkele scenario's. Op basis van alle gegevens over risicogrenzen en de waargenomen concentraties in het milieu worden één of meerdere denklijnen gegeven om tot samenhangende doelstellingen voor herstel te komen die in lijn zijn met uitgangspunten in wet- en regelgeving op het gebied van bodem en grondwater. Daarbij wordt aandacht besteed aan de voor- en nadelen van de verschillende denklijnen. Dit in relatie tot de herstelplicht, maar zonder uitspraak te doen over technische haalbaarheid en kosten van de mogelijke saneringdoelstellingen.

De gepresenteerde denklijnen vertegenwoordigen deels beleidsmatige keuzes van het bevoegde gezag die (mede) gerelateerd zijn aan dit specifieke geval. In het algemeen is er geen sprake van landelijke beleidsmatige keuzes om doelstellingen voor herstel voor nieuwe gevallen af te leiden. Mocht dit in de toekomst wel ontstaan, dan moet dat binnen de lopende interactie tussen RIVM – Ministerie van I&M worden gedaan.

2 Beschrijving situatie en saneringsmogelijkheden hoofdlijnen

2.1 Verontreinigingssituatie

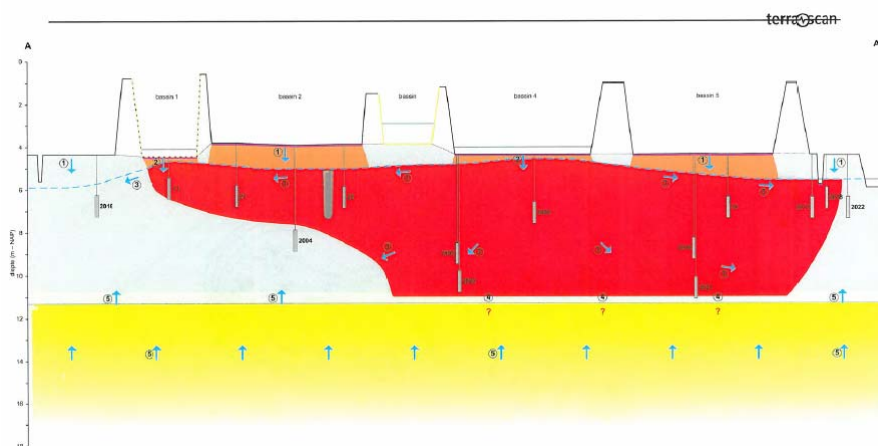
Uit het nader onderzoek dat is uitgevoerd komt de volgende verontreinigingssituatie naar voren (Terrascan, 2011).

In Figuur 2.1 is schematisch de verontreinigingssituatie weergegeven.

Ten eerste wordt het verontreinigde slib onderscheiden. Dit wordt geschat op 1800 m^3 op basis van een oppervlak van 36.000 m^2 voor bassin 1 t/m 5 en een slibdikte van 5 cm.

Ten tweede is grond verontreinigd. De omvang van het deel boven de grondwaterspiegel bedraagt 36.000 m^3 (dezelfde oppervlakte met een dikte van de onverzadigde zone van 1m).

Ten derde is het grondwater onder de verontreinigde grond verontreinigd tot op de onderliggende klei/veenlaag. De situatie onder deze laag is nog niet onderzocht in verband met verontreinigingsgevaar door de boring zelf. Het volume van de grondwaterverontreiniging (bodem incl. grondwater) is geschat op 520.000 m^3 . Ook in het slib en oppervlaktewater van enkele omliggende sloten is PFOS aangetroffen.



Figuur 2.1 Doorsnede van de verontreinigde locatie (bron Terrascan, 2011)

2.2 Saneringsopties op hoofdlijnen

Door het persistente karakter van de verontreinigende stof is (in-situ) afbraak geen optie. Biologische en chemische afbraak is geen optie door de slechte biologische afbreekbaarheid en chemische persistentie, ook bij hogere temperaturen. Verder is de stof goed oplosbaar in water en heeft het een lage vluchtigheid (Moermond e.a., 2010; Bodar e.a., 2011), waardoor sanering via het onttrekken van lucht geen saneringsoptie is.

Om deze redenen kan een beperkt aantal saneringsopties worden onderscheiden. Deze lopen uiteen van zeer ingrijpend tot extensief. Het rapport gaat niet in op de saneringsvarianten, maar schetst alleen voor het overzicht de globale mogelijkheden. Bij het maken van een saneringsplan en het bepalen van de haalbaarheid zullen deze opties in verder detail uitgewerkt moeten worden. Daarvoor zullen ook de concentratiecontouren in grond en grondwater uitgewerkt moeten worden om de consequenties van de keuze van een herstelwaarde te bepalen.

De volgende opties worden onderscheiden:

1. Ontgraving slib en grond in de verzadigde en de onverzadigde zone
Ontgraving van slib en grond in de bronzone is zeer effectief om de vracht aan PFOS op de locatie weg te nemen. In welke mate het effectief is grond beneden het grondwaterpeil te verwijderen is afhankelijk van de concentraties en de mate waarin PFOS aan de grond is gebonden. Gezien de grote verspreiding in 2,5 jaar is de kans groot dat relatief veel PFOS in de waterfase aanwezig is. Dit betekent dat verwijderen van alleen de grond minder effectief is.
2. Ontgraving van slib en grond en onttrekken van grondwater en behandeling van het water.
Omdat alleen onttrekken van grondwater kan leiden tot lange nalevering is het ontgraven van de bronzone in elk geval gewenst. Dit kan ook samengaan met de gewenste herinrichting van het gebied. Sanering van de ondergrond en grondwater via onttrekking en behandeling ('pump and treat') kan via puntonttrekking, maar ook via een open bemaling vanuit een ontgravingsput. Op de behandelingsmogelijkheden wordt hierna kort ingegaan (zie paragraaf 2.3) De vraag is in welke mate PFOS gehecht is aan de vaste fase en of dit reversibel is. Uit een uitloogproef met bovengrondmateriaal bleek bijna een kwart van het PFOS in de grond achter te blijven. In de ondergrond kan dit mogelijk iets lager zijn (zie Terrascan, 2011, tabel 8). Daarnaast is de doorlatendheid van de bodem van belang. De onderliggende bodemlaag is gemiddeld matig siltig zand en dus relatief doorlatend. Dit blijkt ook uit de relatief snelle verspreiding in bodem en grondwater.
3. Isoleren, beheersen en controleren van de verontreiniging.
Uit de waargenomen verspreiding in de afgelopen 2,5 jaar kan worden afgeleid dat PFOS in dit geval mobiel is. Het is sterk de vraag is of (geohydrologisch) isolerende voorzieningen een duurzame oplossing voor deze verontreiniging zijn. Als tijdelijke korte termijn maatregel om verdere verontreiniging van schoon grondwater (en oppervlakte water) te voorkomen kan het effectief zijn.

Nadere toelichting over de toepassing van behandelingstechnieken wordt in de volgende Paragraaf gegeven.

2.3 Reiniging van met PFOS vervuild (grond)water

In de literatuur worden een aantal technieken genoemd om PFOS uit (grond)water te verwijderen en om het te vernietigen. In 2009 is een overzichtsartikel verschenen dat ingaat op de verschillende verwijderingstechnieken voor PFOS en andere perfluorverbindingen uit water (Vecitis et al., 2009). Daarbij wordt melding gemaakt van reverse osmosis, nano-filtratie, en actieve kool. Er wordt tevens opgemerkt dat hierna nog verbranding ('incineration') van het geconcentreerde afval nodig is voor totale verwijdering. Het artikel maakt tevens melding van alternatieve methoden die recenter zijn ontwikkeld en noemt het feit dat conventionele

waterzuiveringsmethoden zoals filtratie, chlorering, anaerobische behandeling en 'activated sludge' weinig effect hebben op verwijdering van PFOS. Het is bekend dat PFOS zeer persistent is en microbiële afbraak van PFOS vindt dan ook nauwelijks plaats. Hiervan wordt ook melding gemaakt in andere bronnen (Ochoa-Herrera, 2008). In Vecitis et al. (2009) wordt beschreven dat met 'granular activated carbon' meer dan 90% van het PFOS uit effluent van een waterzuivering verwijderd kan worden. Hölzer et al (2008) en Wilhelm et al (2008) behandelen beiden een zaak in Arnsberg, Duitsland waarbij PFOS via recycling en verspreiding van grondverbeteraar door agrariërs in grondwater is terechtgekomen. Voor de bereiding van drinkwater werd door de 'Möhnebogen waterworks' in 2006 actief koolfilters geïnstalleerd. Na installatie namen de gehalten van PFCs (perfluorinated compounds) af. Ochoa-Herrera (2008) meldt dat granulair actief kool het PFOS beter bindt dan zeoliet en anaerobic sludge en dat het dus een goede methode is om PFOS uit water te verwijderen.

Voor complete verwijdering van PFOS is verbranding noodzakelijk. Vecitis et al (2009) melden dat bij verbranding bij 600 °C op laboratoriumschaal meer dan 99% van het PFOS wordt vernietigd (niet op praktijkschaal bekend). Ze geven aan dat de verbranding het meest efficiënt geschiedt bij vast afval, en dat de verbranding van PFOS in geconcentreerde waterige oplossingen die geabsorbeerd zijn aan een vaste matrix ook mogelijk is, maar aanzienlijk meer energie kost. Bij de oliebrand in Buncefield (UK) in 2006 kwam veel PFOS-houdend bluswater vrij dat door middel van verbranding is verwijderd (UK-EA, 2011). Veel andere bronnen maken ook melding van verbranding van PFOS. Environment Canada noemt onder meer verbranding bij 760-982 °C. Voor verbranding van PFOS geabsorbeerd aan kool noemen ze evenals anderen verbranding bij 1200 °C (Environment Canada, 2011; Paterson et al., 2008).

Ook bij de reiniging van vervuild oppervlaktewater bij Schiphol is actief kool gebruikt (Terrascan, 2011). Het rapport maakt geen melding over de vernietiging van PFOS.

3 Relevante beleidskaders en bijbehorende risicogrenzen

3.1 Relevante beleidskaders grond en grondwater

3.1.1 *Uitgangspunten preventief bodembeleid*

Voor het verkennen van doelstellingen voor herstel is het relevant om na te gaan welke uitgangspunten reeds zijn gehanteerd in het preventieve bodembeleid. Het gaat om de denklijnen in andere kaders die bruikbaar zijn voor het verkennen van de saneringdoelstellingen. Het gaat er niet om dat de deze kaders daadwerkelijk van toepassing zijn op deze situatie.

Primair is dit beleid natuurlijk gericht op het voorkómen van het belasten van de bodem en het grondwater. Daarnaast geldt de zorgplicht (art 13 Wbb).

Binnen een aantal bodembeleidskaders is ten aanzien van milieubezwaarlijke stoffen normstelling ontwikkeld om de bodem- en grondwaterkwaliteit te beschermen tot een acceptabel niveau. Voor steenachtige bouwstoffen en voor grootschalige bodemtoepassingen (GBT) is als beleidsmatig beschermingsniveau gehanteerd dat uitloging van deze materialen niet mag leiden tot een toename van de concentratie in de bovengrond (gemiddelde van de bovenste meter) en het grondwater (gemiddelde van de bovenste meter) van meer dan de MTT (de Maximaal Toelaatbare Toevoeging; of de HC5 ('Hazardous Concentration' voor 5% van de toetssoorten), de concentratie waarbij 5% van de organismen mogelijk enig effect ondervindt). (VROM, 2007; VROM, 2009). Dit geldt voor anorganische stoffen. De MTT en de (landelijke) achtergrondconcentraties (voor anorganische stoffen) zijn de basis voor het **maximaal toelaatbaar risiconiveau** ($MTR=MTT+AC$, waarbij AC = Achtergrond Concentratie). Voor organische stoffen (antropogene stoffen), zoals PFOS, is de achtergrondconcentratie op nul gesteld omdat deze niet (of nauwelijks) van nature voorkomen.

Het MTR is gedefinieerd als de concentratie van een stof in water, sediment, bodem of lucht waar beneden in het algemeen geen negatief effect is te verwachten. Het MTR-niveau wordt ook bij toelating van stoffen (REACH) en bestrijdingsmiddelen gehanteerd (zie de risico's van stoffen website (<http://www.rivm.nl/rvs/>)).

3.1.2 *Grondwaterrichtlijn en Kaderrichtlijn water*

Grondwater

Vanuit de Grondwaterrichtlijn (GWR) geldt voor het grondwater het principe van 'voorkómen en beperken'. Inbreng van gevaarlijke stoffen (KRW definitie: toxische, persistente en bio-accumulerende stoffen of groepen van stoffen, en andere stoffen of groepen van stoffen die aanleiding geven tot evenveel bezorgdheid) moet worden voorkomen en de inbreng van niet-gevaarlijke stoffen moet worden beperkt.

De GWR kent een uitzonderingsbepaling voor ongevallen: artikel 6.3c) waarin staat dat *"de in lid 1 voorgeschreven maatregelen niet gelden voor de inbreng van verontreinigende stoffen die 'het gevolg is van ongevallen of uitzonderlijke omstandigheden van natuurlijke oorsprong die redelijkerwijs niet te voorzien, te voorkomen of te mitigeren waren"*.

Of in dit geval met succes een beroep zou kunnen worden gedaan op deze uitzonderingsbepaling is een juridisch vraagstuk, die voor dit geval niet verder beoordeeld kan worden. De stof is nog toegelaten volgens REACH tot eind juni 2011 voor blusmiddelen, maar momenteel is het gebruik van PFOS vanuit de overwegingen van de KRW af te raden. Na de calamiteit is besloten het materiaal in de bassins te brengen, waarna ongewenste verspreiding is ontstaan. Als de verontreiniging zich eenmaal in het grondwater bevindt geldt nog het principe van 'onevenredige kosten' (art 6.3e) dat als argumentatie voor het al dan niet volledig opruimen gehanteerd kan worden. Vanuit de KRW kan gesteld worden dat blussen met PFOS-houdend schuim is toegestaan, als dat vooraf bewust is bepaald als de beste keuze, inclusief de effecten op het milieu en de kosten om die effecten te beperken en de verontreiniging weer op te ruimen.

Vanuit de implementatie van de GWR worden normen vastgesteld voor stoffen in het grondwater. Dit zijn Europese normen (vastgelegd in de GWR) én drempelwaarden (door de lidstaten zelf af te leiden normen). Deze zijn bedoeld om de toestand van grondwaterlichamen te bepalen. De begrenzing van grondwaterlichamen in Nederland is dusdanig dat lokale verontreinigingen, zoals met PFOS, de toestandbeoordeling niet zullen beïnvloeden. Met andere woorden, de toestandbeoordeling en daarmee de stofkeuze voor drempelwaarde gebeurt op een groter schaalniveau dan verontreinigingen zoals met PFOS. Er is momenteel dus ook geen drempelwaarde voor PFOS vastgesteld en deze is momenteel ook niet te verwachten.

Oppervlaktewater

Voor lozingen in oppervlaktewater zegt de KRW in artikel 11 over maatregelen dat basismaatregelen de minimumvereisten zijn waaraan moet worden voldaan en dat deze omvatten: *'voor lozingen door puntbronnen die verontreiniging kunnen veroorzaken, een vereiste inzake voorafgaande regulering, zoals een verbod op het in het water brengen van verontreinigende stoffen, of een voorafgaande toestemming, of registratie op basis van algemeen bindende regels, waarin emissiebeheersingsmaatregelen worden voorgeschreven voor de betrokken verontreinigende stoffen, met inbegrip van beheersingsmaatregelen.'*

Oftewel, inbreng van een verontreinigende stof in oppervlaktewater is niet toegestaan als dit niet van te voren is geregeld. Daarnaast staat in artikel 16 van de KRW dat voor prioritair gevaarlijke stoffen geldt dat lozingen, emissies en verliezen moeten worden stopgezet of geleidelijke beëindigd. Wat de prioritair en prioritair gevaarlijke stoffen zijn, is gedefinieerd in de Richtlijn Prioritaire stoffen (dochterraichtlijn van de KRW). PFOS is kandidaat voor de nieuwe lijst van prioritair gevaarlijke stoffen (zie verder paragraaf 3.4).

Uitzonderingsbepaling

De KRW kent ook nog een uitzonderingsbepaling. Artikel 4.6 komt hierop neer dat lidstaten er niet op worden afgerekend als achteruitgang van de toestand van waterlichamen is veroorzaakt door ongevallen die niet konden worden voorzien. De vraag is of gebruik van een bepaald blusmiddel eronder valt. Als voorwaarde voor het gebruik van deze uitzondering geldt o.a. dat maatregelen moeten worden genomen om alsnog de goede toestand te halen (herstellen, artikel 4.6a) en van te voren criteria opgesteld en gerapporteerd moeten worden op basis waarvan deze uitzonderingsbepaling mag worden gebruikt (artikel 4.6b). Dat is nu niet het geval.

Opgemerkt kan worden dat de vorm waarin de KRW in Nederland is geïmplementeerd leidend is voor dit geval, en niet de KRW zelf. De inputs

bepaling van de KRW en GWR (uitgewerkt in de 'Guidance on inputs') over inbreng van verontreinigende stoffen in Nederland is met bestaande Nederlandse wet- en regelgeving geïmplementeerd. In deze zin is het dus een nieuwe bodem/ grondwaterverontreiniging waarvoor volgens de betreffende Nederlandse wetgeving de zorgplicht geldt.

3.1.3 *Blijvende geschiktheid voor bodemfunctie en rol Maximale Waarde (Bbk)*

De Maximale Waarden voor hergebruik van grond en bagger dienen naast de beoordeling van hergebruik tevens als zogenaamde 'terugsaneerwaarden' bij de sanering van *historische* (ontstaan voor 1987, conform Wet Bodembescherming) verontreinigingen. De redenering hierbij is dat voor de sanering van historische verontreinigingen besloten is dat er voor deze gevallen niet gestreefd hoeft te worden naar een kwaliteit die beter is dan het niveau dat hoort bij het begrip 'blijvend geschikt' voor de betreffende functie.

De methodiek voor het afleiden van Maximale Waarden voor hergebruik is ook relevant voor nieuwe verontreinigingen, zoals dit geval. In 2007 zijn door het RIVM voor een groep veel voorkomende stoffen referentiewaarden afgeleid ter onderbouwing van de Maximale Waarden voor hergebruik van grond en bagger (Dirven et. al, 2007). Die referentiewaarden zijn afgeleid voor zeven bodemfuncties. Bij het vaststellen van de Maximale Waarden zijn deze zeven functies geaggregeerd tot drie bodemfunctieklassen ('Achtergrondwaarden', 'Wonen' en 'Industrie'). De beleidsmatige betekenis van de Maximale Waarden is 'blijvende geschiktheid van de bodem voor het beoogde bodemgebruik'. Deze methodiek kan ook worden gebruikt voor het afleiden van bodemkwaliteitscriteria voor PFOS. Toepassing van de methode geeft de hoogste waarde voor terugsanering van nieuwe gevallen, omdat slechts bij overschrijding van de Maximale Waarde de bodem geschikt is voor het gebruik. 'Geschiktheid voor (toekomstig) gebruik' is onderdeel van de vraagstelling voor dit geval. Meer over de beleidspraktijk en de inbedding en toepassing van de Maximale Waarden voor hergebruik is te vinden in het rapport 'Ken uw bodemkwaliteit' (SenterNovem, 2007) en het NOBO (Normstelling en Bodemkwaliteitsbeoordeling)-rapport (VROM, 2009).

De Maximale Waarden zijn gebaseerd op humane en ecologische risicogrenzen en achtergrondgehalten, vergelijkbaar met de onderbouwing van de interventiewaarden (Lijzen et. al, 2001; Dirven et. al, 2007).

3.2 **Relevante risicogrenzen voor (grond)water**

De risicogrenzen voor grondwater zoals opgenomen in Bodar et al. (2011), zijn gebaseerd op de milieurisicogrenzen voor oppervlaktewater (Moermond et al., 2010). Bij elke afleiding van risicogrenzen is er sprake van onzekerheden. De onzekerheid in de milieurisicogrenzen voor grondwater zijn gerelateerd aan de onzekerheid in de milieurisicogrenzen voor oppervlaktewater. Het rapport van Moermond et al. (2010), waarin de beschikbare gegevens over PFOS, de onzekerheden en de risicogrenzen worden beschreven, is besproken en akkoord bevonden door de wetenschappelijke klankbordgroep van het project (Inter)nationale Normen Stoffen (INS).

Voor de bepaling van de risicogrens voor zoet oppervlaktewater zijn drie blootstellingroutes geëvalueerd en de bijbehorende risicogrenzen bepaald (Moermond et al., 2010):

1) directe ecotoxiciteit ($MTR_{eco, water}$, 23 ng/L);

- 2) indirecte toxiciteit voor zoogdieren en vogels die waterdieren eten ($MTR_{sp, water}$, 2,5 ng/L);
 3) toxiciteit voor mensen die visproducten eten ($MTR_{nh\ food, water}$, 0,65 ng/L).
 De laatste route is de meest kritische blootstellingsroute, die het uiteindelijke MTR^2 voor oppervlaktewater heeft bepaald.

Bij de bepaling van de risicogrenzen voor grondwater op basis van de risicogrenzen voor oppervlaktewater is er vanuit gegaan dat risico's voor de voedselketen ($MTR_{sp, water}$) en menselijke consumptie van vis ($MTR_{nh\ food, water}$) niet van belang zijn. Het MTR voor grondwater wordt daarom bepaald door het $MTR_{eco, water}$ (23 ng/L) en de risicogrens voor het gebruik van oppervlaktewater als drinkwater, $MTR_{dw, water}$ (530 ng/L) en is dus 23 ng/L. Vanwege het vóórkomen van organismen in grondwater en het onttrekken van grondwater voor de drinkwaterwinning worden die routes wel van belang geacht. Alleen wanneer zonder verdunning grondwater sterk bepalend is voor de oppervlaktewaterkwaliteit, zal ook gekeken moeten worden naar de risicogrenzen voor indirecte toxiciteit.

In de volgend paragrafen wordt ingegaan op de onderbouwing en de betrouwbaarheid van de afgeleide risicogrenzen, het $MTR_{eco, water}$, het $MTR_{dw, water}$, het $ER_{eco, water}$ (ernstig risico niveau) en de risicogrens voor drinkwater gebruikt bij de afleiding van interventiewaarden. Dat geeft meer inzicht in wat het overschrijden van het MTR kan betekenen voor effecten die als gevolg van PFOS kunnen optreden.

Alle beschikbare en afgeleide risicogrenzen zijn opgenomen in Bijlage 1.

3.2.1 *Ecologische risicogrenzen (grond)water*

$MTR_{eco, water}$

Het MTR is gedefinieerd als de concentratie van een stof in water, sediment, bodem of lucht waar beneden geen negatief effect is te verwachten voor het ecosysteem als gevolg van die stof. In paragraaf 3.1 is aangegeven waar het MTR een rol speelt.

Indien het MTR voor grondwater overschreden wordt, zijn effecten voor het grondwaterecosysteem niet uit te sluiten.

Voor PFOS zijn in vergelijking met andere stoffen relatief veel gegevens beschikbaar over de toxiciteit voor waterorganismen. Dit betreft zowel eindpunten voor kortdurende (acute) blootstelling als eindpunten voor langdurende (chronische) blootstelling. Voor chronische blootstelling waren 15 eindpunten beschikbaar voor zeven taxonomische groepen (algen, blauwgroenalgen, waterplanten, kreeftachtigen, insecten, vissen en amfibieën). Een deel van deze eindpunten betrof zg. <-waarden ('kleiner dan' waarden), dat wil zeggen dat in de desbetreffende experimenten bij de laagst geteste concentratie soms aanzienlijke effecten (tot 80%) werden waargenomen. Voor kortdurende blootstelling waren 16 eindpunten beschikbaar voor zeven taxonomische groepen (algen, blauwgroenalgen, waterplanten, kreeftachtigen, platwormen, weekdieren en vissen). De ecotoxiciteitswaarden varieerden tussen

² De risicogrenzen voor water zijn in Moermond et al. (2010) aangeduid als "MTR". Binnen het kader van normafleiding in Nederland heeft een MTR voor water de status van wetenschappelijke advieswaarde. Vastgestelde normen voor oppervlaktewater onder de Kaderrichtlijn Water worden aangeduid als Milieukwaliteitsnorm (MKN).

6,4 en 283 mg/L voor acute toxiciteit en tussen < 0,0023 en 191 mg/L voor chronische toxiciteit.

Binnen de methoden voor de Kaderrichtlijn Water, kan een milieurisicogrens op drie manieren worden afgeleid;

- door het toepassen van een veiligheidsfactor op het laagste toxiciteitsgetal;
- door het toepassen van statistische extrapolatie op alle toxiciteitsgetallen in combinatie met een veiligheidsfactor (via de zogenoemde soortengevoelighedsverdeling, Posthuma et al., 2002; Vlaardingen en Verbruggen, 2007);
- op basis van (semi-)veldexperimenten in combinatie met een veiligheidsfactor.

Voor het $MTR_{eco, water}$ voor PFOS is de eerste methode gebruikt. Het $MTR_{eco, water}$ is gebaseerd op het eindpunt voor chronische toxiciteit voor het insect *Chironomus tentans* met behulp van een veiligheidsfactor van 100. Dit is één van de testen waar bij de laagste testconcentratie nog significante effecten optraden, waardoor er voor dit insect dus geen veilige concentratie bekend is. Als er voor de geteste dieren wél een veilige concentratie bekend zou zijn, zou in principe in het preventieve beleidsspoor een veiligheidsfactor van 10 worden toegepast om niet-geteste soorten te beschermen. Omdat er nu er geen veilige concentratie is, is een veiligheidsfactor van 100 toegepast. In een studie met vissen trad 80% sterfte op bij 10 µg/L, het 'geen effect-niveau' werd geschat op ca. 20 ng/L. Dit is min of meer gelijk aan het MTR-niveau, wat aangeeft dat het MTR van 23 ng/L niet overbeschermend is voor het waterecosysteem.

Bij de normafleiding ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water wordt de mogelijkheid genoemd om het MTR-niveau ook af te leiden met behulp van de statistische extrapolatie methode. Om deze laatste methode daarbij toe te mogen passen moet de dataset aan bepaalde voorwaarden voldoen. Het aantal geteste soorten en taxonomische groepen was relatief groot. Een aantal waarnemingen betroffen echter 'kleiner dan' waarden en die kunnen volgens de afspraken in de gangbare KRW-methodiek niet worden meegenomen. Bovendien betreffen deze 'kleiner dan waarden' de meest gevoelige soorten. Daarom is binnen de KRW-methodiek geen statistische extrapolatie toegepast.

HC_{5, gw} voor chronische toxiciteit

Om een beeld te krijgen van de mate waarin effecten kunnen optreden bij het hiervoor genoemde MTR (23 ng/L) is de statistische extrapolatie methode uitgevoerd met een aantal aannames. Voor de gevoelige organismen waarvoor nu alleen een 'kleiner dan' waarde bekend is, is aangenomen dat het geen-effectniveau in werkelijkheid een factor 2 lager is dan het nu bekende laagste waargenomen effect-niveau. Op basis hiervan wordt berekend dat 5% van de soorten mogelijk effect ondervindt bij een concentratie van 370 ng/L. Ook zijn er waarden beschikbaar voor nematoden die getest zijn in agar. Voor deze organismen zijn effecten aangetoond bij een concentratie van 500 en 5 ng/L agar. Deze waarden geven aan dat deze organismen zeer gevoelig zijn. Ze zijn niet meegenomen in de normafleiding, omdat het om bodem-nematoden gaat en de testen niet in water maar in agar zijn uitgevoerd. Vanwege de vertaling van ng/L agar naar ng/L water is het bovendien de vraag of deze concentraties wel gebruikt kunnen worden. Als het geometrisch gemiddelde van deze waarden ook in de statistische extrapolatie worden meegenomen, leidt dit tot een waarde van 94 ng/L, als waarde waarbij 5% van de soorten een mogelijk effect ondervindt.

Met deze uitgangspunten voldoet de statistische extrapolatie niet aan de eisen die de huidige methodiek voor het preventieve beleid stelt. De uitkomst dient alleen om een indruk te krijgen welk deel van het ecosysteem mogelijk een effect ondervindt als de huidige risicogrenzen worden overschreden.

HC_{5, gw} voor acute toxiciteit

Naast een HC5 op basis van chronische toxiciteitstesten (NOEC, No Observed Effect Concentration) kan ook een HC5 op basis van acute toxiciteitstesten (EC50-waarden) worden afgeleid. Dit is het niveau waarop 5% van de organismen een wezenlijk (50%) effect zou kunnen ondervinden. Door daar onder te blijven kunnen grotere effecten (op een grotere fractie van de soorten) worden uitgesloten. Door het ontbreken van EC50 waarden voor gevoelige groepen kan deze niet verantwoord via statistische extrapolatie worden afgeleid. Wel kan op basis van kennis uit de literatuur worden gesteld (De Zwart, 2002) dat dit niveau ongeveer een factor 10 hoger ligt dan de grens van hetzelfde type (HC-waarde) die afgeleid is van het niveau berekend op basis van NOECs uit chronische testen.

ER_{gw}

Het ernstig risiconiveau (ER) voor water is de waterconcentratie waarbij voor 50% van de waterorganismen een negatief effect van PFOS door directe blootstelling niet is uit te sluiten.

Het ER voor grondwater is gelijk aan het ER voor oppervlaktewater. Volgens Moermond et al. (2010) is het ER voor oppervlaktewater 930 µg/L. In dit getal zijn de 'kleiner dan' waarden wel meegenomen, maar waarden voor de bodemnematode niet. Door Moermond et al. is aangegeven dat de relevantie van het ER voor effecten op het ecosysteem onvolledig is, omdat indirecte effecten, en effecten in de voedselketen niet zijn meegenomen. De statistische extrapolatie zoals hierboven uitgevoerd, met de aanname voor de gevoelige soorten en het geometrisch gemiddelde voor de nematoden, geeft als concentratie waarbij directe effecten worden verwacht voor 50% van de grondwaterorganismen een waarde van 405 µg/L. Dit betekent dat ter hoogte van het ER_{gw} waarschijnlijk voor meer dan 50% van de waterorganismen directe negatieve effecten niet uit te sluiten zijn, en dat indirecte effecten kunnen optreden. De waarde van 405 µg/L ligt voor een aantal organismen (vissen, insecten, kreeftachtigen) boven de waargenomen toxiciteitswaarden (NOECs, Bijlage 2), wat suggereert dat directe effecten op deze groepen (en vergelijkbaar gevoelige groepen) bij blootstelling te verwachten zijn bij dit niveau.

3.2.2 *Humane risicogrenzen (grond)water*

MTR_{dw, water}

Het MTR_{dw, water} (530 ng/L) is de concentratie die ten hoogste mag voorkomen in oppervlaktewater, als dat zonder zuivering wordt gebruikt voor de bereiding van drinkwater.

De berekening is gebaseerd op het drinken van 2 liter water per dag door de mens (70 kg) en een blootstelling van maximaal 10% van de Toelaatbare Dagelijkse Inname (TDI) van PFOS. Een TDI voor PFOS van 150 ng/kg_{bw} per dag is afgeleid door de European Food Safety Authority (EFSA) (2008). De afleiding door de EFSA gebeurt door een internationaal team van experts en staat binnen dit kader niet ter discussie. Vanuit het oogpunt van drinkwaterkwaliteit is overschrijding van deze waarde ongewenst.

Drinkwaterstandaarden in Duitsland, Verenigd Koninkrijk en Verenigde Staten variëren van 100 tot 300 ng/L, deze liggen dus in dezelfde orde van grootte als het $MTR_{dw, water}$. Als bekend is welke fractie bij drinkwaterbereiding door zuivering kan worden verwijderd, is het wel mogelijk dat de $MTR_{dw, water}$ wordt aangepast. Binnen de berekeningen voor de Kaderrichtlijn Water is de zuiveringsfactor niet meegenomen bij de berekening van het $MTR_{dw, water}$.

Risicogrens drinkwater voor interventiewaarde $C_{max, drinkwater}$

De interventiewaarde grondwater (IW) is de concentratie waarboven een verontreiniging in het grondwater als ernstig verontreinigd wordt beschouwd (bij een volume groter dan 100m³ bodem incl grondwater).

Eén van de grondslagen voor de afleiding van de interventiewaarde grondwater is dat het grondwater strategisch geschikt moet zijn voor menselijke consumptie zonder verdere zuivering. Daartoe is de concentratie in het water berekend die leidt tot 100% opvulling van de TDI. Deze risicogrens is ruimer dan de $MTR_{dw, water}$ die uitgaat van de KRW-methodiek waarbij 10% van de TDI wordt gebruikt als kritische waarde.

Op basis van de TDI kan een theoretische grenswaarde voor drinkwater worden afgeleid. Bij deze waarde wordt de TDI bereikt door de consumptie van drinkwater. Hierbij wordt verondersteld dat de kwaliteit van drinkwater gelijk is aan die van grondwater en dat de dagelijkse consumptie van drinkwater respectievelijk 1 liter (kind) en 2 liter (volwassene) bedraagt. Op basis van deze gegevens wordt een $C_{max, drinkwater}$ afgeleid van 4,7 µg/L.

3.3 Relevante waarden voor grond

In deze paragraaf zijn de relevante risicogrenzen en bodemkwaliteitscriteria voor grond opgenomen. Eerst wordt ingegaan op de ecologische risicogrenzen (zie 3.3.1). Daarnaast is risicobeoordeling van bodemverontreiniging voor de mens relevant. Daartoe worden de humane risicogrenzen afgeleid die leiden tot gehalten die staan voor de geschiktheid voor gebruik (zie Paragraaf 3.1.3 voor achtergrond en 3.3.2 voor afgeleide waarden). Tot slot wordt ingegaan op risicogrenzen voor bodem die nalevering naar grondwater moeten voorkomen (zie 3.3.3).

Alle beschikbare en afgeleide risicogrenzen zijn opgenomen in Bijlage 1.

3.3.1 Ecologische risicogrenzen

Milieurisicogrenzen voor PFOS in bodem zijn opgenomen in Bodar et al. (2011).

Voor het afleiden van deze waarden zijn twee blootstellingsroutes geëvalueerd: directe ecotoxiciteit ($MTR_{eco, bodem} = 10 \mu\text{g/kg}$) en indirecte toxiciteit voor zoogdieren en vogels die met PFOS verontreinigde bodemdieren eten ($MTR_{sp, bodem} = 3,2 \mu\text{g/kg}_{ds}$). Als MTR_{bodem} is de laagste van deze twee waarden voorgesteld: 3,2 µg/kg. Het MTR voor de consumptie door mensen van groente, melk en vlees gekweekt/geteeld op met PFOS verontreinigde bodem, is niet afgeleid vanwege een gebrek aan gegevens.

De onzekerheden die naar voren zijn gekomen bij de afleiding van het $MTR_{eco, bodem}$ en $MTR_{sp, bodem}$ worden hieronder besproken.

$MTR_{eco, bodem}$

Indien het $MTR_{eco, bodem}$ overschreden wordt, zijn effecten voor het bodemecosysteem niet uit te sluiten. Vanwege de relatie met de methodiek van soortengevoeligheidsverdelingen betekent dit, dat er sprake is van een volledige bescherming van structuur en functie van ecosystemen als het MTR niet wordt overschreden.

Voor de afleiding van het $MTR_{eco, bodem}$, gebaseerd op directe ecotoxiciteit, waren zeer beperkt gegevens beschikbaar. De beschikbare gegevens waren voor één regenwormensoort en zeven plantensoorten. De waarde voor de regenworm was voor kortdurende blootstelling (geen effect bij 77 mg/kg) en de waarden voor de planten waren voor langdurende blootstelling (voor de meest gevoelige plant geen effect bij 1 mg/kg). Aangezien er chronische waarden waren voor slechts één trofisch niveau, planten, is op de meest gevoelige plant een assessment factor van 100 toegepast. In het rapport van Bodar et al. (2011) is aangegeven dat bodeminsecten en mogelijk ook nematoden (aaltjes) gevoeliger kunnen zijn voor PFOS dan planten en dat het $MTR_{eco, bodem}$ hierdoor mogelijk niet beschermend is voor die groepen organismen. Uit de toxiciteitgegevens voor waterorganismen, zoals gepresenteerd door Moermond et al. (2010) kan worden afgeleid dat insecten minimaal een factor 100 gevoeliger kunnen zijn dan waterplanten (zie Bijlage 2 met overzicht toxiciteitsdata). Als dit ook van toepassing is op bodemorganismen, bestaat de kans dat bij bodemconcentraties van PFOS ter hoogte van het $MTR_{eco, bodem}$ en mogelijk lager, al effecten voor het bodemecosysteem mogelijk zijn.

$MTR_{sp, bodem}$

Bij de afleiding van het $MTR_{sp, bodem}$ spelen drie factoren een rol:

- 1) de waarde voor toxiciteit van PFOS voor zoogdieren en vogels (geen effect bij 0,037 mg/kg_{voedsel});
- 2) een waarde voor de verhouding van de concentratie van PFOS in regenwormen en in de bodem (de 'biota-to-soil-accumulation-factor' - BSAF; 2,5 kg/kg);
- 3) een waarde voor verdere doorvergiftiging van PFOS in de voedselketen (BMF; 5 kg/kg).

Omdat PFOS een persistente stof is die sterk aan (dierlijke) eiwitten bindt, zijn de laatste twee factoren van groot belang.

De waarde voor de toxiciteit van PFOS voor zoogdieren en vogels is gebaseerd op een relatief grote dataset, met 26 eindpunten voor vijf soorten zoogdieren en twee soorten vogels, en kent daardoor weinig onzekerheid. De waarde van 5 kg/kg voor de BMF is gebaseerd op de resultaten van meerdere studies die elkaar onderbouwden en kent daardoor ook weinig onzekerheid. De waarde van de 2,5 kg/kg voor de BSAF wordt door Bodar et al. (2011) echter als onzeker aangemerkt omdat deze waarde afkomstig is uit een kortdurende wormenstudie die is uitgevoerd in kunstgrond. Voorlopige gegevens van Belgisch onderzoek lijken erop te wijzen dat dit getal in het veld aanzienlijk hoger zou kunnen zijn. Hierdoor is niet uitgesloten dat bij bodemconcentraties ter hoogte van het $MTR_{sp, bodem}$ al effecten voor zoogdieren en vogels optreden.

ER_{bodem}

Het ER_{bodem} is, net als bij water, de concentratie waarbij voor 50% van de organismen een negatief effect van PFOS (boven de geen-effect grens) niet is uit te sluiten.

Het ER_{bodem} voor PFOS van 16 mg/kg is afgeleid door Bodar et al. (Bodar et al., 2011) op basis van de zeer beperkte dataset die voor bodemorganismen

beschikbaar was. In dat rapport is al aangegeven dat de relevantie van het ER voor effecten op het ecosysteem beperkt is omdat de mogelijk gevoeligste soorten in de dataset ontbraken, maar ook omdat effecten van doorvergiftiging in de voedselketen niet zijn meegenomen. Het is daarom te verwachten dat op het niveau van het ER aanzienlijke effecten kunnen optreden (> 50% van de soorten), terwijl ook indirecte effecten (niet gekwantificeerd) zullen optreden.

Middenwaarde ecologie

De middenwaarde wordt bepaald door het geometrisch gemiddelde van het MTR_{bodem} en het ER_{bodem} en bedraagt $400 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{ds}}$. Gezien de grote onzekerheden in het MTR_{bodem} en ER_{bodem} is het niet mogelijk om aan te geven voor welk deel van de soorten bij deze concentratie een mogelijk negatief effect te verwachten is. Af te leiden is, dat deze fractie in theorie tussen de 5% en de genoemde 50% fractie van soorten zal liggen.

3.3.2 Risicogrenzen systematiek maximale waarden

Humane risicogrenzen

De humane risicogrenzen in de systematiek van de Maximale Waarden (MW) voor grond is het gehalte waarbij – bij het betreffende bodemgebruik – de berekende blootstelling gelijk is het Maximaal Toelaatbaar Risico-niveau voor de mens. De humane risicogrenzen is afgeleid voor het standaardbodemgebruik 'Wonen met tuin', conform de uitgangspunten uit de evaluatie Interventiewaarden 2001 (Lijzen et. al) en voor het bodemgebruik 'Ander groen, infrastructuur en industrie', volgens de afleiding van de Referentiewaarden ter onderbouwing van Maximale Waarden in het bodembeleid (Dirven et al., 2007). Voor de parameterisatie van het blootstellingsmodel CSOIL wordt grotendeels gebruik gemaakt van de stofgegevens uit Moermond et. al (2010). (zie Tabel 3.1)

Tabel 3.1 Stofgegevens van PFOS gebruikt voor afleiding humane risicogrenzen

Parameter	Waarde	Bron
Molmassa (M)	500 g/mol	Moermond et. al, 2010
Oplosbaarheid (S)	370 mg/l	
Dampspanning (Vp)	$3,31 \times 10^{-3}$ Pa	
logKoc	2,57 l/kg	
pKa	-3,27	
Toegestane Dagelijkse Inname (TDI)	$1,50 \times 10^{-4}$ mg/kg lg/d	
BCF _{bladgewas}	1,28 (mg/kg _{versgewicht})/ (mg/l) ^a	Stahl et al., 2009
BCF _{knolgewas}	$1,78 \times 10^{-2}$ (mg/kg _{versgewicht})/ (mg/l) ^a	

^aBerekend uit gemiddelde gerapporteerde gehalten opgenomen PFOS, zie toelichting in tekst

In Moermond et. al (2010) wordt het geometrisch gemiddelde van de beschouwde K_{oc} waarden (verdelingscoëfficiënt octanol/water) gerapporteerd ($5,0 \text{ l}/\text{kg}$). Omdat de spreiding in de gevonden K_{oc} waarden relatief groot is, is hier bij wijze van worst-case scenario voor de laagst gerapporteerde K_{oc} gekozen.

De gewasopname wordt door het blootstellingsmodel berekend op basis van de K_{ow} (verdelingscoëfficiënt organisch koolstof/water). Het blijkt echter niet mogelijk om voor de amfifiele verbinding PFOS een K_{ow} waarde te bepalen (Moermond et. al, 2010).

Voor de berekening van de gewasopname is daarom gebruik gemaakt van bioconcentratiefactoren (BCF) die zijn afgeleid uit de gerapporteerde gehalten in gewassen in een gewasopnamestudie (Stahl et al., 2009). Uit de studie blijkt dat de opname van PFOS sterk varieert tussen verschillende gewassen en verschillende delen van de gewassen. De BCF waarden in Tabel 3.1 zijn berekend op basis van de gemiddelde gewasopname in de meest relevante (delen van) gewassen uit de studie. Voor bladgewas zijn dat haverstro, tarwestro en tarwegras. Voor knolgewas is dat aardappel (gemiddelde van gerapporteerde waarden in schil en knol). De waarden uit de oorspronkelijke studie zijn omgerekend naar waarden op basis van versgewicht (plantgehalte) en poriewater.

Op basis van bovenstaande gegevens wordt een humane risicogrens afgeleid van 6,6 mg/kg voor het bodemgebruik 'Wonen met tuin' en van 16 mg/kg voor het bodemgebruik 'openbaar groen' en voor het bodemgebruik 'Ander groen, infrastructuur, bebouwing en industrie'.

Afleiding niveau van 'Maximale Waarde'

In de methodiek van de afleiding van Maximale waarden wordt naast de humane risicogrens een ecologische risicogrens gebruikt op twee niveaus: de middenwaarde en de HC50 (zie Paragraaf 3.3.1) De ecologische risicogrens behorend bij het bodemgebruik 'Wonen met tuin' is 400 µg/kg (middenwaarde) en voor het bodemgebruik 'Ander groen, infrastructuur, bebouwing en industrie' een waarde van 16 mg/kg (HC50) (Bodar e.a., 2011).

3.3.3 *Risicogrens nalevering naar het grondwater*

In Bodar et al. (2010) worden verdelingscoëfficiënten 'bodem-totaal/water' met behulp van een drie-fasen evenwichtspartitiemodel berekend uitgaande van een logK_{oc} van 5,0 L/kg en een logK_{oc} van 2,57 L/kg. De zo verkregen verdelingscoëfficiënten bedragen respectievelijk 6300 L/kg en 22 L/kg. De verdelingscoëfficiënten zijn van toepassing op de Nederlandse standaardbodem, met een organisch stofgehalte van 10%.

Met deze verdelingscoëfficiënten kunnen de risicogrenswaarden die voor grondwater zijn afgeleid, worden uitgedrukt in daaraan evenredige totaalgehalten in grond (bijvoorbeeld mg/kg droge stof) en andersom. Dit is een grote range voor een partitie coëfficiënt. Gezien de waargenomen verspreiding naar het grondwater, wordt de lagere K_{oc} aannemelijker geacht voor deze situatie dan de hogere waarde.

Bij de verschillende risicogrenzen in grondwater worden gehalten in grond berekend die garanderen dat door nalevering kritische concentraties in grondwater niet worden bereikt. Een doelstelling voor herstel voor grond kan daarmee afgestemd worden met de waarde voor grondwater. In Bijlage 1 zijn de kritische bodemconcentraties berekend. Omdat met een bereik van K_{oc} waarden wordt gerekend, wordt ook de uitkomst van de berekeningen gegeven als een bereik. Zo wordt een indruk verkregen van het bereik in uitkomsten, uitgaande van de scenario's voor een hoge beschikbaarheid van PFOS (lage K_{oc}) en een lage beschikbaarheid (hoge K_{oc}).

Via evenwichtspartitie kunnen ook risicogrenzen voor grondwater afgeleid worden bij verschillende vormen van bodemgebruik. Deze waarden bedragen

respectievelijk 290 µg/l en 710 µg/l voor de functies 'Wonen met tuin' en 'Ander groen, infrastructuur, bebouwing en industrie'.

3.4 Normering internationaal

De Kaderrichtlijn Water (KRW) kent stoffen waarvoor de Europese normen gehaald moeten worden (prioritaire stoffen) en voor een deelverzameling van die stoffen wordt gestreefd naar uitfasering (prioritair gevaarlijke stoffen). De eerste lijst prioritaire stoffen is in 2002 gepubliceerd. PFOS behoort niet tot de 1^e lijst en is dus ook niet opgenomen in de Richtlijn waarin normen voor prioritaire en prioritair gevaarlijke stoffen zijn opgenomen.

De KRW voorziet in een regelmatige herziening van de lijst van prioritaire stoffen en in een update van de geldende normen. In mei 2007 werd deze herziening gestart. De herziening bevindt zich nu in een eindfase.

In september 2009 is een lijst met 119 potentiële kandidaten opgeleverd, waarvan er 41 geselecteerd werden voor nadere evaluatie. Van deze stoffen is een dossier aangelegd waarbij de Europese Commissie of een Lidstaat de leiding had. In mei 2010 is de lijst verder gereduceerd tot 19 stoffen waarvan de dossiers verder zijn uitgewerkt en besproken in september en december 2010. Eén van de overgebleven stoffen is PFOS. PFOS is momenteel ingedeeld als kandidaat prioritair gevaarlijke stof. Dit zou betekenen dat de normen gehaald moeten worden en dat emissies moeten worden uitgefaseerd.

Het dossier voor PFOS is opgesteld door Het Verenigd Koninkrijk, met een grote inbreng vanuit Nederland. De normvoorstellen in het dossier komen grotendeels overeen met die in het rapport Moermond et al (2010). Momenteel (februari 2011) is er op wetenschappelijk niveau overeenstemming over de voorgestelde normen voor PFOS en ook op beleidsniveau (zie Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Voorstel voor normen voor PFOS op Europees beleidsniveau (WG-E 27-28 januari 2011)

Stofnaam	Jaargemiddelde milieukwaliteits-norm	Maximale milieukwaliteits-norm	Norm voor biota
Perfluorooctaansulfonzuur en haar zouten (PFOS) en perfluorooctaansulfonyl fluoride (PFSF)			0,0091 mg/kg
	Zoet: 0,00065 µg/L	Zoet: 36 µg/L	
	Zout: 0,00013 µg/L	Zout: 7,2 µg/L	

De Europese Commissie moet het oordeel van de 'Scientific Committee on Health and Environmental Risks' (SCHER) over de normafleidingen nog bespreken. De Europese Commissie besluit op basis van haar initiatiefrecht welke stoffen uiteindelijk in het voorstel worden opgenomen. Een definitief besluit zal de Europese Commissie mede maken op basis van de resultaten van de zogenaamde 'impact assessment'. Voor elke stof is door een consultant van de Commissie in kaart gebracht wat de financiële en maatschappelijke gevolgen zijn van eventuele maatregelen die worden genomen. Deze integrale Impact Assessment is in april besproken door de Impact Assessment board van de Europese Commissie. Volgens de planning zal de Europese Commissie na de zomer van 2011 met een voorstel komen voor herziening van de richtlijn prioritaire stoffen. Het is zeer aannemelijk dat de gepresenteerde risicogrenzen zullen worden aangenomen.

3.5 Verkenning rapportagegrenzen en achtergrondwaarden grond en water

3.5.1 Rapportagegrenzen en detectiegrenzen

In het rapport over het bodemonderzoek bij de opslagbassins op Schiphol (Terrascan, 2011) worden concentraties van PFOS gerapporteerd in grond, slib en grondwater. In dit rapport zijn rapportagegrenzen gehanteerd van 0,1 µg/kg drooggewicht voor grond, 0,1 µg/kg drooggewicht voor slib en 0,1 µg/L voor grondwater.

De vraag is welke rapportagegrenzen gebruikt kunnen worden voor PFOS in grond, slib en grondwater. Voor sanering is het van belang om te weten tot welke concentratie de aanwezigheid van PFOS is vast te stellen. Daartoe is eerst toegelicht wat wordt verstaan onder de begrippen detectiegrens en rapportagegrens. Daarna wordt voor water en grond ingegaan op wat momenteel de gangbare bepalingsgrenzen zijn. De overzichten die hierbij gegeven worden zijn een indicatie want er is niet uitputtend naar gegevens gezocht.

Voor de minimale concentratie tot waar de hoeveelheid van een stof in een matrix (bijvoorbeeld grond of water) bepaald kan worden is in het Terrascan rapport (2011) het begrip bepalingsgrens gebruikt. Om duidelijkheid rond een aantal termen te scheppen is in Tabel 3.3 een overzicht gegeven. De detectiegrens is de laagste (of hoogste) concentratie waarbij de aanwezigheid van een stof kan worden aangetoond, maar niet in kwantitatieve zin. De rapportagegrens is de laagste (of hoogste) concentratie waarbij de aanwezigheid van een stof kwantitatief kan worden bepaald.

In het vervolg van dit rapport wordt uitsluitend nog gebruik gemaakt van het begrip 'rapportagegrens', dat wordt verondersteld synoniem te zijn voor het begrip 'bepalingsgrens'.

Tabel 3.3 Definitie detectiegrenzen en rapportagegrenzen

	Equivalent in andere talen	Definitie	Bron
Detectie-grens	UK: Limit of Detection (LoD) D: Nachweisgrenze	Laagste of hoogste waarde van de grootheid waarvan het meetresultaat met een bepaalde nauwkeurigheid kan worden vastgesteld.	(IDSW, 2008)
		Laagste waarde van een component in een monster waarbij de aanwezigheid nog kan worden vastgesteld.	(IDSW, 2008)
Rapportage-grens	UK: Limit of Quantification (LoQ) D: Bestimmungsgrenze	Laagste waarde van een component in een monster die nog kwantitatief goed kan worden vastgesteld.	(IDSW, 2008)
		De laagste meetwaarde die met de gebruikte analyseapparatuur mogelijk is. Metingen onder de rapportagegrens worden gerapporteerd als 'kleiner dan' de rapportagegrens.	(Torenbeek and Pelsma, 2008)
		In wetenschappelijke kringen wordt de rapportagegrens vaak gedefinieerd als 3.3 maal de detectiegrens.	

Rapportagegrens grond

Tabel 3.4 geeft een overzicht van bepalingsgrenzen en/of laagst gemeten concentraties van PFOS in grond en sediment. Er is ook een voorkeur voor gegevens over Nederlandse bodems, maar bij gebrek aan Nederlandse data zijn internationale gegevens gebruikt. De gegevens uit Tabel 3.4 zijn voor het grootste deel in overeenstemming met, of hoger dan de rapportagegrens, zoals aangehouden door Terrascan (2011). Alleen Becker et al. (2008) geeft een rapportagegrens voor sediment die iets lager ligt dan die voor slib. De publicatie van Becker et al. (2008) geeft één van de laagste rapportagegrenzen voor grond (zie hieronder). Geconcludeerd wordt dat voor de rapportagegrens van PFOS in grond een waarde van 0,1 µg/kg_{dw} kan worden aangehouden.

Tabel 3.4 Overzicht rapportagegrenzen grond

Soort	Land	Detectie-grens (µg/kg _{dw})	Rapportage-grens (µg/kg _{dw})	Laagste conc. gerapporteed (µg/kg _{dw})	Referentie
grond	Duitsland	3	10	3	(Muller, 2008)
grond	Duitsland	1			(Stahl et al., 2009)
sediment	Duitsland		0,05	0,072	(Becker et al., 2008)
sediment	Noorwegen	0,3			(SFT, 2008)
grond	Korea	0,5		<2	(Naile et al., 2010)
sediment	US	0,1		0,201	(Higgins et al., 2005)
vaste deeltjes in oppervlakte water	Duitsland	1,04	3,46		(Möller, 2009)

Rapportagegrens grondwater

Voor de rapportagegrens van grondwater is hier het uitgangspunt dat er geen verschil is tussen de analyse van PFOS in oppervlaktewater en in grondwater. In Tabel 3.5 staat een overzicht van rapportagegrenzen en laagste gemeten concentraties van PFOS in water. Uit dit overzicht kan worden afgeleid dat PFOS kan worden aangetoond in watermonsters tot een concentratie van 0,1 ng/L. Een commercieel laboratorium uit de VS (Weck, 2011) claimt een rapportagegrens van 5 ng/L maar uit de publicaties van Nederlandse, Duitse en Japanse onderzoeksgroepen (Becker et al., 2008, Eschauzier et al., 2010, Murakami et al., 2009) blijkt dat de rapportagegrens nog een factor 10 lager kan zijn (0,12 tot 0,3 ng/L). Dit betekent dat de sanering van grondwater tot deze lagere concentraties gevolgd zou moeten kunnen worden.

Concluderend wordt voornamelijk uitgegaan van een rapportagegrens van 5 ng/l.

Tabel 3.5 overzicht van bepalingsgrenzen van PFOS in water

Soort water	Detectiegrens (ng/L)	Rapportagegrens (ng/L)	Laagste concentratie gerapporteerd (ng/L)	Referentie
grondwater		1		(Reinhardt et al., 2010)
grondwater			0,28	(Murakami et al., 2009)
grondwater	2,4	7,2		(Enevoldsen and Juhler, 2010)
rivierwater			5,7	(RIWA-Rijn, 2010)
rivierwater/regenwater	0,1		0,3	(Eschauzier et al., 2010)
rivierwater			0,89	(Möller et al., 2010)
rivierwater	10		37	(Wilhelm et al., 2010)
rivierwater	2		2	(Skutlarek et al., 2006)
rivierwater		0,12	1,7	(Becker et al., 2008)
rivierwater	1			(Loos et al., 2009)
rivierwater	0,23	0,77		(Möller, 2009)
zeewater	0,092	0,31		(Möller, 2009)
zeewater			0,25	(Möller et al., 2010)
zeewater	0,2		4,11	(Naile et al., 2010)
laboratoriumwater	7,1	21,3		(Enevoldsen and Juhler, 2010)
water		5		(Weck, 2011)

3.5.2 Achtergrondconcentraties in grondwater en grond

Met betrekking tot de sanering van met PFOS vervuilde grondwater en grond is het de vraag wat relevante achtergrondconcentraties zijn voor PFOS in Nederland. Ten eerste is PFOS een niet natuurlijke stof, waardoor natuurlijke achtergrondgehalten voor PFOS in feite niet bestaan. Er kan wel worden weergegeven welke concentraties er in relatief onbelaste gebieden worden aangetroffen. Deze concentraties kunnen aangehouden worden als indicatie tot welk niveau gesaneerd zou moeten worden om een systeem te krijgen dat niet schoner is dan de rest van Nederland.

Grondwater

Voor PFOS in grondwater zijn weinig gegevens beschikbaar, relevante gegevens zijn in Tabel 3.6 weergegeven. Omdat grondwatergegevens voor Nederland ontbraken, zijn gegevens voor geïnfiltreerd regenwater opgenomen en enkele internationale gegevens. Dit laatste is een goede indicatie van de te verwachten concentratie van relatief onbelaste gebieden in Nederland. Hieruit kan worden afgeleid dat in het Nederlandse grondwater in een 'normale' situatie concentraties te verwachten zijn van maximaal 14 ng/L. Van de 49 locaties Zwitserse locaties die door Reinhardt zijn getest was op 32 locaties de PFOS concentratie beneden de detectiegrens en op 11 locaties de concentratie beneden 10 ng/L. De oorzaak van de 6 hoge concentraties werd toegeschreven aan vervuiling door rioolwater. Soortgelijke conclusies werden getrokken in de Japanse studie in Tokyo. Uit deze gegevens kan worden afgeleid dat de concentratie van PFOS in Nederlands grondwater in relatief onbelaste gebieden vermoedelijk beneden 14 ng/L zal liggen.

Tabel 3.6 Achtergrondconcentraties van PFOS in grondwater

Soort water	Land	Laagste concentratie gerapporteerd (ng/L)	Hoogste concentratie gerapporteerd (ng/L)	Referentie
grondwater	Zwitserland	< 1	120	(Reinhardt et al., 2010)
grondwater	Japan, Tokyo	0,28	133	(Murakami et al., 2009)
regenwater	Nederland, Amsterdamse Waterleiding Duinen	<0.1	14	(Eschauzier et al., 2010)

Grond

Over het voorkomen van PFOS in de Nederlandse bodem zijn geen gegevens beschikbaar. Ook is bij de bepaling van achtergrondgehalten van stoffen in Nederland binnen het AW2000 project, PFOS niet meegenomen. Daarom zijn in Tabel 3.7 enkele internationale meetgegevens voor PFOS in bodem en sediment weergegeven. De hoogst gerapporteerde waarde is 6,5 µg/kg droge grond voor een monster dat afkomstig is uit een gebied in Duitsland met verhoogde blootstelling aan PFOS. De overige gerapporteerde concentraties in dit gebied lagen meestal beneden de detectiegrens van 3 µg/kg. Ook de hoogste sediment waarde, waargenomen in de VS, is afkomstig uit een gebied met verhoogde blootstelling (uitstroom van een rioolwater zuiveringsinstallatie - RWZI). Verder geeft een Noors rapport (SFT, 2008) een 'achtergrondwaarde' voor sediment van < 0,17 µg/kg. Op grond van deze gegevens kan gesteld worden dat in een relatief onbelast gebied, de concentratie van PFOS beneden de huidige detectiegrens zal liggen.

Tabel 3.7 Achtergrondconcentraties van PFOS in grond

Soort	Gegevens grond/sediment	Land	Laagste concentratie gerapporteerd (µg/kg _{dw})	Hoogste concentratie gerapporteerd (µg/kg _{dw})	Referentie
Grond	gebied met verhoogde immissie van PFOS	Duitsland	<3	6,5	(Muller, 2008)
Sediment	Roter-Main rivier Beieren. De rivier ontvangt industrieel en huishoudelijk afvalwater.	Duitsland	0,072	0,310	(Becker et al., 2008)
Grond	kustgebied geen gegevens over directe contaminatie	Korea	<2	<2	(Naile et al., 2010)
Sediment	alle sediment gemonsterd bij de kust, meestal bij een rivier monding. De hoogste concentratie is aangetroffen bij de uitstroom van een RWZI.	US	<0, 1	3,76	(Higgins et al., 2005)

4 Overwegingen bij het bepalen van een doelstelling voor herstel voor grond en grondwater

4.1 Doel en scenario's

Doel van deze rapportage is de mogelijke doelstellingen voor herstel voor grond en grondwater te verkennen, op basis van beschikbare risicogrenzen en kwaliteitscriteria (detectiegrenzen, achtergrondwaarden) en hun betekenis binnen het vigerende bodem- en grondwaterbeleid.

In dit hoofdstuk worden scenario's uitgewerkt om tot samenhangende doelstellingen voor herstel te komen. Daarbij wordt ingegaan op de achterliggende denklijnen en waar de betreffende aanpak voor staat, de voor- en nadelen, en de kwantitatieve uitwerking in termen van terugsaneerwaarden die uit de denklijnen volgen. Per scenario wordt kort ingegaan op de verhouding met de waargenomen waterconcentraties en gehalten in grond.

Uitgangspunt is de 'herstelplicht' voor nieuwe gevallen, zoals deze eerder is beschreven conform de Wet Bodembescherming, maar ook enkele minder vergaande scenario's zijn uitgewerkt. Er wordt geen uitspraak gedaan over (kosten)technische haalbaarheid van de mogelijke doelstellingen voor herstel. De keuze van de doelstelling of herstelwaarde wordt door de bevoegde overheid gemaakt op basis van de gewenste ambitie en de nog te bepalen haalbaarheid.

Er worden vier scenario's gericht op het terugsaneren onderscheiden:

1. De rapportagegrens (1a) en achtergrondconcentraties (1b) van PFOS in grond en grondwater;
2. Het wegnemen van ecologische risico's door sanering tot het concentratieniveau dat in andere (preventieve) beleidskaders wordt gehanteerd (bouwstoffen, GBT en vanuit Grondwaterrichtlijn/KRW);
3. Het wegnemen van ecologische effecten door sanering tot het niveau dat er daadwerkelijk effecten waargenomen worden in (ecotoxicologische) experimenten;
4. Blijvende geschiktheid voor het bodemgebruik volgens de systematiek van Maximale Waarden (ecologische en humaan) zoals gehanteerd in het beleid voor hergebruik van grond en bagger, inclusief gebruik voor de winning/bereiding van drinkwater.

In Tabel 4.1 aan het einde van dit hoofdstuk zijn de relevante waarden samengevat.

4.2 Rapportagegrens en achtergrondconcentratie

Waarom

Op basis van zorgplicht art. 13 van de Wbb bestaat er een herstelplicht voor zogenaamde nieuwe gevallen van bodemverontreiniging. Op basis hiervan is bij een ontstane verontreiniging ieder *'verplicht alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van hem kunnen worden gevergd...de verontreiniging of de aantasting en de directe gevolgen daarvan te beperken en zoveel mogelijk ongedaan te maken'*. Indien *'redelijker wijs'* mogelijk moet dus alle verontreiniging worden weggenomen. Dit kan worden vertaald in het wegnemen van de verontreiniging tot de rapportagegrens.

In Paragraaf 3.5.1 is aangegeven hoe deze rapportagegrens voor grond en grondwater momenteel internationaal ligt. Hierbij moet aangetekend worden dat de detectiegrens (LOD, limit of detection) lager ligt dan de rapportagegrens (LOQ, limit of quantification).

Aangezien op enkele plaatsen in Nederland PFOS in het grondwater terecht komt door infiltratie van regenwater waar deze stof in zit, kan gesteld worden dat een saneringdoel voor dit geval tot beneden dat niveau niet reëel is. Met andere woorden, praktijkgegevens over achtergrondconcentraties van PFOS in combinatie met de bepalingsgrenzen leveren de ondergrens van de hier verkende denklijnen.

Kwantitatief

Op basis van de literatuur kan gesteld worden dat de rapportagegrens voor PFOS in grond 0,1 µg/kg ds, in slib 0,1 µg/kg ds en in grondwater 5 ng/l gehaald kan worden. Dit betekent dat de rapportagegrenzen in het rapport van Terrascan (Terrascan, 2011) voor grond en slib overeenkomt met de huidige stand van zaken van de analyse. Voor grondwater is de gehanteerde rapportagegrens van 100 ng/l hoog ten opzichte van de in de literatuur genoemde waarde.

Gemeten achtergrondconcentraties in Nederland zijn niet goed bekend (zie 3.5.2). Wel bestaan voor regenwater enige gegevens en ontstaat een beeld van de grondwaterconcentratie range op basis van gegevens van elders in de wereld. Dit maakt duidelijk dat lokaal concentraties hoger kunnen liggen dan de rapportagegrens van 5 ng/l. 10 ng/l kan als een bovenwaarde van deze gegevens worden beschouwd en kan een reden zijn om het niveau van de doelstelling te verhogen.

Gezien het voorgaande is de doelstelling voor herstel op basis van dit scenario daarmee af te leiden als 0,1 µg/kg voor grond en 10 ng/l voor grondwater.

Implicaties

De voorgestelde doelstellingen voor grond en grondwater liggen fors onder de waargenomen gehalten. Voor grond is dit een factor 2500 kleiner dan het hoogste gemeten gehalte (250 µg/kg). Voor grondwater is dit een factor 5000 kleiner dan de hoogst gemeten waarde (50 µg/l). Het volume grond is volgens de rapportage van Terrascan 36.000m³. Voor grondwater is het volgens die schatting meer dan 500.000 m³ (bodem incl. grondwater).

4.3 Wegnemen ecologisch risico conform preventieve beleidskaders

Waarom

Het wegnemen van het ecologische risico van deze stof betekent dat de concentraties in grond en grondwater onder het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau gebracht moeten worden. Hiermee wordt aangesloten bij het gebruik van het MTR in het preventieve bodembeleid en het gebruik van het MTR binnen de Grondwaterrichtlijn. In de onderbouwing is primair gebruik gemaakt van MTR_{bodem} en $MTR_{\text{water,opgelost}}$. Doordat de MTR algemene bescherming beoogt, in alle mogelijke gevallen, is het beschermingsniveau per definitie bekend indien er teruggesaneerd wordt naar deze waarde. Wordt in de praktijk teruggesaneerd naar een risiconiveau op- of onder het MTR, betekent dit dat het bodemecosysteem noch structureel, noch functioneel is aangetast bij deze concentratie PFOS. In de afleiding van de MTR spelen twee methodieken een rol,

gebruik van veiligheidsfactoren (als de gegevens niet afdoende zijn voor statistische extrapolatie) en statistische extrapolatie (zie Paragraaf 3.2.1) De beschikbare risicogrenzen voor oppervlaktewater voor doorvergiftiging en humane visconsumptie zijn hier buiten beschouwing gebleven, omdat daar voor grondwater vanwege het ontbreken van deze blootstellingsroutes geen rekening mee gehouden hoeft te worden. Als op termijn het grondwater overgaat in oppervlaktewater zal de dan optredende verdunning moeten zorgen dat doorvergiftiging niet optreedt. Het wordt aanbevolen bij de saneringsinspanning rekening te houden met de voor de Kaderrichtlijn Water te halen doelstelling voor oppervlaktewater. Dit zal onder meer afhangen van de mate van transport van PFOS naar omringend oppervlaktewater (afstand, stroomrichting, verdunning).

Wanneer tot beneden deze gehalten gesaneerd wordt, worden ook de humane blootstellingsrisico's voorkomen en wordt aan de drinkwaternorm voldaan.

Kwantitatief

Kwantitatief kan de terugsaneerwaarde gericht op het wegnemen van ecologische risico's via dit scenario op twee manieren worden ingevuld.

Ten eerste (2a) wordt gebruik gemaakt van de MTR-waarden verkregen via de Europese methodiek voor het preventief kader. Het $MTR_{eco, bodem}$ is $3,2 \mu\text{g}/\text{kg ds}$, waarbij indirecte toxiciteit naar vogels en zoogdieren is meegenomen. Voor grondwater is het $MTR_{water, opgelost}$ 23 ng/l en daarmee het niveau dat past bij deze doelstelling. Beneden deze gehalten worden in grond en grondwater geen effecten verwacht. De MTR voor doorvergiftiging is alleen relevant voor oppervlaktewater en blijft hier dus buiten beschouwing.

Ten tweede (2b) kan gebruik gemaakt worden van statistische extrapolatie van soortengevoeligheidsdata, die Europees niet gehanteerd is omdat het aantal gegevens niet voldoet aan de daar gestelde criteria. Voor bodem bleken er niet afdoende gegevens om de grens via de soortengevoeligheidsmethodiek te bepalen, waardoor hier ook de waarde van $3,2 \mu\text{g}/\text{kg}_{ds}$ wordt aangehouden.

Voor grondwater is het mogelijk de statistische extrapolatie van soortengevoeligheidsgegevens in water te gebruiken. Uit deze data uit Moermond e.a. (2010) blijkt dat er een grote spreiding is in de NOEC-waarden tussen de verschillende getoetste organismen. De 5e percentiel (HC5) van de SSD van de geselecteerde water-NOECs is bepaald (zie Paragraaf 3.2.1). Afhankelijke van de data die wordt betrokken blijkt een waarde tussen 94 ng/l en 370 ng/l afgeleid te kunnen worden (nematoden in agar wel of niet meenemen). Gezien de onzekerheden en de vereiste van geschiktheid van de bodem voor het gebruik wordt voor PFOS uitgegaan van de laagste waarde als terugsaneerwaarde (94 ng/l).

Implicaties

De voorgestelde doelstellingen voor grond en grondwater liggen onder de waargenomen gehalten. Voor grond is dit bijna een factor 80 kleiner dan het hoogste gemeten gehalte ($250 \mu\text{g}/\text{kg}$). Voor grondwater is dit een factor 530 kleiner dan de hoogst gemeten waarde ($50 \mu\text{g}/\text{l}$), afhankelijk van de gebruikte getalswaarde. Het volume grond en volume grondwater (bodem incl. grondwater) boven deze waarde moet nader worden bepaald.

4.4 **Wegnemen ecologische effecten en grondwater dat voldoet aan norm voor drinkwaterbereiding**

Waarom

Voor het afleiden van ecotoxicologische risicogrenzen is een uitgebreide systematiek ontwikkeld die ook in Europees kader is vastgelegd. In Paragraaf 3.2.1 is ingegaan op de achtergronden en de betrouwbaarheid van het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau, als begrip uit het preventieve beleidskader en als begrip waarmee vastgesteld kan worden of een milieucompartiment in het algemeen schoon (in de zin van: potentieel risico in alle gevallen lager dan de beleidsmatige grenswaarde) genoemd kan worden. In geval van een calamiteit komt de vraag op in welke mate daadwerkelijk effecten zullen optreden op de specifieke, verontreinigde locatie. Het gaat dan niet meer om het voorkómen van effecten in het algemeen, maar om het niveau waarop werkelijke effecten na sanering nog kunnen bestaan (vóórkomen van effecten in een specifiek geval).

Om een dergelijk niveau te bepalen is het mogelijk om een 'lokale effectgrens' (als aanvulling op de algemene 'veilige' grens) voor blootstelling via bodem en via grondwater af te leiden.

Om dit niveau te bepalen kan het 5e percentiel (HC5) van EC50 waarden uit acute ecotoxiciteitstesten worden gebruikt. Uiteindelijk is, net als bij het preventieve beleid, een dergelijke keuze van beleidsmatige aard. De hieruit volgende waarde wordt begrensd door de Maximale Waarde behorend bij het bodemgebruik. De HC5-waarde op basis van de beschikbare EC50-gegevens is niet berekend, omdat data voor naar verwachting gevoelige groepen ontbreken (vissen, insecten en bodemnematoden). De 'waarschijnlijke beperkte-effect waarde' kan in dit geval beter afgeleid worden via de verhouding tussen chronische en acute toxiciteitsdata, (deze HC5 van EC50 waarden is voor veel stoffen een factor 10 hoger dan de HC5 van de NOEC³). Zie voor de achtergronden Paragraaf 3.2.1.

Wanneer de doelstelling gelegd wordt op het niveau dat net niet daadwerkelijk effecten worden waargenomen kan naar de laagste NOEC-waarde worden gekeken. Doordat dit om 'kleiner dan waarden' gaat en mogelijk gevoelige organismen ontbreken heeft dit niet de voorkeur.

De geschiktheid van *grondwater voor drinkwater* is een eis die aanvullend kan worden gesteld in de vorm van de **MTR_{dw, water}** (zie 3.2.2). Hiervoor de Europese systematiek voor afleiding van drinkwaternormen worden gevolgd.

Kwantitatief

Voor bodem is de laagste NOEC waarde gevonden voor een plant, en deze waarde is 0,1 mg/kgds, waarbij duidelijk is aangegeven dat dit niet de meest gevoelige soort is. Er is geen statistische extrapolatie uitgevoerd op basis van EC50's. De doelstelling voor bodem wordt voor dit scenario aanbevolen te leggen op 10 µg/kg ds, omdat bij de dataset voor water ook een verschil in gevoeligheid van een factor 100 wordt waargenomen tussen planten en de gevoelige groepen (zie onder). Nalevering naar grondwater tot de doelstelling voor grondwater is hiermee ook afgedekt.

³ De Zwart (2002)

Voor grondwater is de laagste NOEC-waarde $<2,3 \mu\text{g/l}$. Dit gaat echter om een 'kleiner dan' waarde, waaronder dus ook effecten kunnen optreden. De doelstelling voor dit scenario zou moeten liggen op de 5e percentiel van de SSD van de geselecteerde EC50 waarden voor waterorganismen, waardoor het optreden van daadwerkelijke ecologische effecten waarschijnlijk kan worden uitgesloten. Op basis van de 5^e- percentielwaarde op basis van EC50-waarden ligt de waarde in de range van $0,94 \mu\text{g/l}$ en $3,7 \mu\text{g/l}$. Gezien de onzekerheden wordt uitgegaan van de laagste waarde.

Dit ligt boven de drinkwaternorm van 530 ng/l ($0,53 \mu\text{g/l}$) die Europees is voorgesteld (zie 3.2.2), waardoor deze als maatgevend wordt voorgesteld voor dit scenario.

Implicaties

De voorgestelde doelstellingen voor herstel voor grond en grondwater liggen onder de waargenomen gehalten. Voor grond is dit een factor 25 kleiner dan het hoogste gemeten gehalte ($250 \mu\text{g/kg}$). Voor grondwater is dit een factor 50 kleiner dan de hoogst gemeten waarde ($50 \mu\text{g/l}$). Het volume grond en volume grondwater (bodem incl. grondwater) boven deze waarde moet nader worden bepaald.

4.5 Blijvend geschikte bodemkwaliteit en grondwater geschikt voor gebruik

Waarom

In Paragraaf 3.3.2 is de afleiding van de bodemkwaliteitscriteria voor het bodembeheer beschreven. Deze bodemkwaliteitscriteria zijn opgenomen in de Regeling bodemkwaliteit en staan voor een blijvende geschiktheid voor het gebruik. Het toekomstig gebruik van de locatie kan worden ingedeeld bij 'openbaar groen' en als 'overig groen en infrastructuur'. Dit bodemgebruik valt respectievelijk binnen de klasse 'wonen' en 'industrie'.

Het hanteren van deze benadering moet gezien worden als het minimale scenario. Bij het toekomstig gebruik moet de resterende PFOS in de bodem geen risico's opleveren voor het gebruik en worden geen effecten verwacht die het gebruik schaden. Mocht ooit het gebruik veranderen naar woongebied of natuur of landbouwgebied, dan zijn wel extra maatregelen nodig om de kwaliteit weer in overeenstemming te brengen met het gebruik.

De kwaliteit van het grondwater moet in evenwicht zijn hiermee om herverontreiniging te kunnen voorkomen. Daarnaast moet strategisch gebruik van het grondwater als drinkwater mogelijk zijn.

Kwantitatief

Het bodemkwaliteitscriterium dat hoort bij het gebruik 'openbaar groen' is $0,40 \text{ mg/kg}$. Dit is gebaseerd op de humane risicogrens van 16 mg/kg en de ecologische middenwaarde van $0,40 \text{ mg/kg}$ (de humane risicogrens op interventiewaarde niveau is $6,6 \text{ mg/kg}$). Zie voor de afleiding Paragraaf 3.3.2. De achtergrondwaarden in grond in diffuus belaste gebieden zijn onbekend.

Om het strategische gebruik van grondwater als drinkwater mogelijk te laten zijn is een maximale concentratie voor $C_{\text{max, drinkwater}}$ afgeleid van $4,7 \mu\text{g/l}$. Deze onderbouwing wordt ook gebruikt bij de interventiewaarde afleiding en kan gezien worden als de minimale doelstelling. Op basis van deze grondwaterdoelstelling zal de bodemwaarde op basis van (onzekere) evenwichtspartitie bijgesteld moeten worden tot $0,1 \text{ mg/kg}$

Implicaties

De bij dit scenario voorgestelde doelstellingen voor grond en grondwater liggen onder de waargenomen gehalten. Voor grond is dit een factor 2,5 kleiner dan het hoogste gemeten gehalte (250 µg/kg). Voor grondwater is dit ruim een factor 10 kleiner dan de hoogst gemeten waarde (50 µg/l). Het volume grond en volume grondwater (bodem incl. grondwater) boven deze waarde moet nog nader worden bepaald.

4.6 **Overzicht van doelstellingen voor herstel PFOS-verontreiniging in grond en grondwater**

In de voorgaande paragrafen zijn denkbare doelstellingen voor herstel van PFOS-verontreiniging in grond en grondwater afgeleid, op basis van vigerende regelgeving, beleidsdoelen, wetenschappelijke kennis, en gegevens over gedrag en toxiciteit van PFOS. Bij de denkbare saneringsdoelen zijn voor- en nadelen genoemd, en is de technische haalbaarheid aangegeven ten aanzien van het begrip rapportagegrens. Samenvattend hebben de analyses geleid tot de in Tabel 4.1 samengevatte, samenhangende potentiële doelstellingen voor herstel (alleen uitgedrukt als te bereiken eindconcentraties). De scenario's verschillen in de mate waarin de concentratie teruggebracht moet worden, waarbij optie 1 de laagste- en optie 4 de relatief hoogste concentraties toe zou laten, en in hun aansluiting op ambities en wet- en regelgeving.

Tabel 4.1 Samenvatting voorstellen doelstelling voor herstel per scenario met verschillende ambities

Scenario	Doelstelling grond (µg/kg)	Doelstelling grondwater (µg/l)
1. Rapportagegrens en achtergrondconcentraties	0.1	0.010
2a. Wegnemen ecologisch risico (via vastgestelde methodiek preventief beleid)	3,2	0.023
2b. Wegnemen ecologisch risico (via gevoeligheidsverdeling soorten)	3,2	0.094
3. Wegnemen ecologische effecten en grondwater dat voldoet aan norm drinkwaterbereiding	10	0.53
4. Blijvend geschikte bodemkwaliteit en grondwater geschikt als drinkwater	100	4.7

5 Referenties

- Becker AM, Gerstmann S, Frank H. 2008. Perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate in the sediment of the Roter Main river, Bayreuth, Germany. *Environmental Pollution*. 156: 818-820.
- Bodar CWM, Lijzen JPA, Moermond CTA, Peijnenburg WJGM, Smit CE, Verbruggen EMJ. 2011. Advies risicogrenzen grond en grondwater voor PFOS - Vertrouwelijk. Bilthoven: RIVM.
- Bodar et al., 2010. Advies Risicogrenzen grond en grondwater PFOS. Bodar, Lijzen, Moermond, Peijnenburg, Smit, Verbruggen, Janssen.
- De Zwart (2002) Observed regularities in species sensitivity distributions for aquatic species. In Posthuma L., Suter G.W., Traas T.P. eds., *Species-Sensitivity Distributions in Ecotoxicology*. Lewis, Boca Raton, FL, USA, pp 133 – 154.
- Dirven-Van Breemen E.M., Lijzen J.P.A., Otte P.F., Van Vlaardingen P.L.A., Spijker J., Verbruggen E.M.J., Swartjes F.A., Groenenberg J.E., Rutgers M. (2007) Landelijke Referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid. RIVM rapport 711701053, RIVM, Bilthoven.
- EFSA. 2008. Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts - Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *The EFSA journal*. 653: 1-131.
- Enevoldsen R, Juhler RK. 2010. Perfluorinated compounds (PFCs) in groundwater and aqueous soil extracts: Using inline SPE-LC-MS/MS for screening and sorption characterisation of perfluorooctane sulphonate and related compounds. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 398: 1161-1172.
- Environment Canada (2011). Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Its Salts and its Precursors - Risk Management Strategy. <http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/default.asp?lang=En&n=FBF28622-1&wsdoc=71567BF6-4394-5CD3-25CA-8706AD48FF7B> 11/02/2011.
- Eschauzier C, Haftka J, Stuyfzand PJ, De Voogt P. 2010. Perfluorinated compounds in infiltrated river rhine water and infiltrated rainwater in coastal dunes. *Environmental Science and Technology*. 44: 7450-7455.
- Higgins CP, Field JA, Criddle CS, Luthy RG. 2005. Quantitative determination of perfluorochemicals in sediments and domestic sludge. *Environmental Science and Technology*. 39: 3946-3956.
- Hölzer, J. O. Midasch, K. Rauchfuss, M. Kraft, R. Reupert, J. Angerer, P. Kleeschulte, N. Marschall, M. Wilhelm. (2010). Biomonitoring of Perfluorinated Compounds in Children and Adults Exposed to Perfluorooctanoate-Contaminated Drinking Water. *Environ. Health Perspect.* 116: 651-657.
- IDsW. 2008. Concept wijzigingsvoorstel (RfC) voor het afstemmen van de Aquo domeintabellen - Kwaliteitsoordeel en indicatie kwaliteit meetwaarde. Amersfoort: Informatiehuis water. Report no. W-0810-0020.
- Lijzen J.P.A., Baars A.J., Otte P.F., Rikken M.G.J., Swartjes F.A., Verbruggen E.M.J., Van Wezel A.P. (2001) Technical evaluation of the Intervention Values for Soil/sediment and Groundwater. Human and ecotoxicological risk assessment and derivation of risk limits for soil, aquatic sediment and groundwater. Report 711701023, RIVM, Bilthoven.
- Loos R, Gawlik BM, Locoro G, Rimaviciute E, Contini S, Bidoglio G. 2009. EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environmental Pollution*. 157: 561-568.

- Moermond, C.T.A. ; E.M.J. Verbruggen, C.E. Smit, 2010. Environmental risk limits for PFOS, a proposal for water quality standards in accordance with the Water Framework Directive (= Milieurisicogrenzen voor PFOS; reportnr RIVM rapport 601714013. RIVM, Bilthoven
- Möller A, Ahrens L, Surm R, Westerveld J, Van Der Wielen F, Ebinghaus R, De Voogt P. 2010. Distribution and sources of polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the River Rhine watershed. *Environmental Pollution*. 158: 3243-3250.
- Möller A. 2009. Analysis of poly- and perfluoroalkyl compounds (PFCs) in surface water of the river Rhine using HPLC-MS/MS. Lübeck, Fachhochschule, Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften - Studiengang Chemieingenieurwesen.
- Muller C. 2008. Perfluorierte Tenside (PFT) in bayerischen Boden? Freising, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Murakami M, Kuroda K, Sato N, Fukushi T, Takizawa S, Takada H. 2009. Groundwater pollution by perfluorinated surfactants in Tokyo. *Environmental Science and Technology*. 43: 3480-3486.
- Naile JE, Khim JS, Wang T, Chen C, Luo W, Kwon BO, Park J, Koh CH, Jones PD, Lu Y, Giesy JP. 2010. Perfluorinated compounds in water, sediment, soil and biota from estuarine and coastal areas of Korea. *Environmental Pollution*. 158: 1237-1244.
- Ochoa-Herrera, V.L.. (2008). Removal of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and related compounds from industrial effluents. Ph D Thesis University of Arizona. <http://gradworks.umi.com/33/37/3337202.html>
- Paterson, L., T. Siemens Kennedy, D. Sweeney. (2008). Remediation of Perfluorinated alkyl compounds at a former fire fighting training area. Remediation Technologies Symposium, 2008. <http://www.esaa-events.com/remtech2008/abstracts/Abstract%2034.pdf>. 11/02/2011
- Posthuma, L., Suter G.W. and Traas, Th.P (2002) Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology. CRC-Pres.
- Reinhardt M, Tremp J, Zoller O, Rupp H, Hoehn E. 2010. Perfluorierte Chemikalien im Grundwasser. *Gas Wasser Abwasser*. 2010: 967-978.
- RIWA-Rijn. 2010. Jaarrapport 2009 - De Rijn. Nieuwegein: RIWA-Rijn.
- SenterNovem (2007) Ken uw (water)bodemkwaliteit, de risico's inzichtelijk. Een uitgave van Bodem+, kenmerk 3BODM0704.
- SFT. 2008. Screening of polyfluorinated organic compounds at four fire training facilities in Norway. Oslo: Statens forurensningstilsyn.
- Skutlarek D, Exner M, Färber H. 2006. Perfluorinated surfactants in surface and drinking waters. *Environmental Science and Pollution Research*. 13: 299-307.
- Stahl T, Heyn J, Thiele H, Huther J, Failing K, Georgii S, Brunn H. 2009. Carryover of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) from soil to plants. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 57: 289-298.
- Terrascan, 2011. Verontreinigingssituatie en sanering PFOS 'opslagbassins' te schiphol-zuid-oost Memo drs. J.S. Sluis dd 20 december 2010
- Terrascan. 2011. Nader bodemonderzoek naar PFOS 'opslagbassins' te Schiphol-Zuidoost. Badhoevedorp: Terrascan B.V. Report no. T.10.5974, derde conceptversie maart 2011.
- Torenbeek R, Pelsma TAHM. 2008. Protocol toetsen en beoordelen voor de operationele monitoring en toestand- en trendmonitoring toetsjaar 2007 - Werkgroep MIR. Arnhem / Den Haag: Arcadis / Rijkswaterstaat.
- UK-Environment Agency, 2011. Buncefield fuel depot <http://www.environment-agency.gov.uk/homeandleisure/pollution/water/89141.aspx>

- Vecitis, C.D., H. Park, J. Cheng, B.T. Mader, M.R. Hoffmann. (2009). Treatment technologies for aqueous perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA). *Front. Environ. Sci. Engin. China* 2009, 3(2): 129–151.
- VROM, 2009. NOBO: Normstelling en bodemkwaliteitsbeoordeling; Onderbouwing en beleidsmatige keuzes voor de bodemnormen in 2005, 2006 en 2007.
- Weck. 2011. Determination of perfluorinated compounds in water. In: Inc. WL (Ed.) *City of Industry, California, USA, Weck Laboratories.*
- Wilhelm M, Bergmann S, Dieter HH. 2010. Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *International Journal of Hygiene and Environmental Health.* 213: 224-232.
- Wilhelm, M., S. Bergmann, H.H. Dieter. (2010). Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 213:224-232.
- Vlaardingen, P.L.A. van, and E.M.J. Verbruggen. Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of 'International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands' (INS), Revision 2007 RIVM report 601782001/2007

Bijlage 1 Samenvatting risicogrenzen met bronvermelding

Overzicht van de afgeleide normen voor PFOS. De cursief weergegeven getallen zijn de onderliggende normen voor de uiteindelijke norm voor een compartiment.

ERL	Zoet oppervlakte-water	Zout- en brakwater	Grondwater	Grond (standaard-bodem)	bron
<i>eenheid</i>	<i>ng/L</i>	<i>ng/L</i>	<i>ng/L</i>	<i>µg/kg droge stof in</i>	
<i>Primaire bron</i>	<i>(Moermond et al., 2010)</i>	<i>(Moermond et al., 2010)</i>	<i>(Bodar et al., 2011)</i>	<i>(Bodar et al., 2011)</i>	
MTR (laagste)	0,65	0,53	23	0.5-140 ¹	(Moermond et al., 2010) (Bodar et al., 2011)
<i>MTR_{eco, water}</i>	<i>23</i>	<i>23</i>	<i>23</i>	<i>-</i>	<i>(Moermond et al., 2010) (Bodar et al., 2011)</i>
<i>MTR_{sp, water}</i>	<i>2,6</i>	<i>0,53</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>(Moermond et al., 2010)</i>
<i>MTR_{hh food, water}</i>	<i>0,65</i>	<i>0,65</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>(Moermond et al., 2010)</i>
MAC_{eco, water}	36 x 10 ³	7,2 x 10 ³	-	-	(Moermond et al., 2010)
VR_{eco, water}	0,0065	0,0053	0,23	-	(Moermond et al., 2010) (Bodar et al., 2011)
ER_{eco, water}	930 x 10 ³	930 x 10 ³	930 x 10 ³	21000 – 5,9 x10 ⁶ ¹	(Moermond et al., 2010) (Bodar et al., 2011)
Water voor drinkwater bereiding <i>MTR_{dw, water}</i>	530		530	12 – 3300 ¹	(Moermond et al., 2010) (Bodar et al., 2011)
Strategisch gebruik grondwater als drinkwater	4700		4700	100 – 30000 ¹	dit rapport
HC5 via SSD (LOEC naar NOEC niveau)			370	8,2 – 23000 ¹	dit rapport
HC5 via SSD (LOEC naar NOEC niveau en geometrisch gem. bodemnematoden)			94	2 – 5900 ¹	dit rapport
HC5 op EC50-niveau (10*HC5 op NOEC-niveau)			3700	82 – 30000 ¹	dit rapport
HC5 op EC50-niveau (10*HC5 op NOEC-niveau, incl geom. Gem bodemnematoden)			940		dit rapport
<i>MTR_{eco, bodem} (laagste)</i>				3,2	<i>(Bodar et al., 2011)</i>
<i>MTR_{eco, bodem}</i>				10	<i>(Bodar et al., 2011)</i>
<i>MTR_{sp, bodem}</i>				3,2	<i>(Bodar et al., 2011)</i>
<i>MTR_{hh food, bodem}</i>				<i>gg.</i>	<i>(Bodar et al., 2011)</i>
<i>VR_{eco, bodem}</i>				0,032	<i>(Bodar et al., 2011)</i>
<i>ER_{eco, bodem}</i>				16 x 10 ³	<i>(Bodar et al., 2011)</i>
MW wonen met tuin, mens				6,6 x 10 ³	dit rapport
MW wonen met tuin, eco middenwaarde				400	dit rapport
MW industrie, mens				16 x 10 ³	dit rapport
MW industrie, ER _{eco}				16 x 10 ³	dit rapport

gg. = geen gegevens beschikbaar voor de afleiding.

1 bodemwaarde die nalevering vanuit grond naar grondwater op het niveau van een risicogrens voorkomt (op basis van evenwichtspartitie)

Bijlage 2 Toxiciteitswaarden voor de toxiciteit van PFOS

Tabel B2.1 Toxiciteitswaarden voor de toxiciteit van PFOS voor zoetwaterorganismen zoals geselecteerd door Moermond et al. (2010).

Chronisch Taxonomische groep	NOEC/EC10 [µg/L]	Acuut Taxonomische groep	L(E)C50 [µg/L]
Algen		Algen	
<i>Chlorella vulgaris</i>	8200	<i>Chlorella vulgaris</i>	82000
<i>Navicula pelliculosa</i>	191000	<i>Navicula pelliculosa</i>	283000
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	53000	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	120000
Blauwgroenalgen		Blauwgroenalgen	
<i>Anabaena flos-aqua</i>	94000	<i>Anabaena flos-aqua</i>	176000
Hogere planten		Hogere planten	
<i>Lemna gibba</i>	6600	<i>Lemna gibba</i>	31000
<i>Myriophyllum sibiricum</i>	560	Kreeftachtigen	
<i>Myriophyllum spicatum</i>	3200	<i>Daphnia magna</i>	48000
Kreeftachtigen		<i>Daphnia pulex</i>	124000
<i>Daphnia magna</i>	7000	<i>Moina macrocopa</i>	18000
<i>Moina macrocopa</i>	400	<i>Neocaridina denticulate</i>	9300
Insecten		Platwormen	
<i>Chironomus tentans</i>	< 2.3	<i>Dugesia japonica</i>	18000
<i>Enallagma cyathigerum</i>	< 10	Schaaldieren	
Vissen		<i>Physa acuta</i>	165000
<i>Oryzias latipes</i>	< 10	<i>Unio complamatus</i>	59000
<i>Pimephales promelas</i>	27	Vissen	
Amfibieën		<i>Lepomis macrochirus</i>	6400
<i>Xenopus laevis</i>	5000	<i>Pimephales promelas</i>	6600
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>	13000

Tabel B2.2 Toxiciteitswaarden voor de toxiciteit van PFOS voor zoutwaterorganismen zoals geselecteerd door Moermond et al. (2010).

Chronisch Taxonomische groep	NOEC/EC10 [µg/L]	Acuut Taxonomische groep	L(E)C50 [µg/L]
Kreeftachtigen		Kreeftachtigen	
<i>Americamysis bahia</i>	250	<i>Americamysis bahia</i>	3600
		<i>Artemia sp.</i>	8300
		Vissen	
		<i>Oncorhynchus mykiss^b</i>	13000

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl